



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**RANCANG BANGUN ALAT MUSIK BERBASIS
PERUBAHAN ARUS PERPINDAHAN**

Muhammad Dwi Rifqi
NRP 2213100087

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Wirawan, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TE 141599

**MUSICAL INSTRUMENT DESIGN BASED ON
DISPLACEMENT CURRENT**

Muhammad Dwi Rifqi
NRP 2213100087

Advisors

Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
Dr. Ir. Wirawan, DEA

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Rancang Bangun Alat Musik Berbasis Perubahan Arus Perpindahan**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017

Muhammad Dwi Rifqi
NRP. 2213100087

Halaman ini sengaja dikosongkan

**RANCANG BANGUN ALAT MUSIK BERBASIS
PERUBAHAN ARUS PERPINDAHAN**

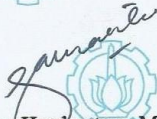
TUGAS AKHIR


Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19701111 199303 1 002


Dr. Ir. Wirawan, DEA.
NIP. 19631109 198903 1 011



**SURABAYA
JULI, 2017**

Halaman ini sengaja dikosongkan

RANCANG BANGUN ALAT MUSIK BERBASIS PERUBAHAN ARUS PERPINDAHAN

Nama : Muhammad Dwi Rifqi
Pembimbing I : Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
Pembimbing II : Dr. Ir. Wirawan, DEA

ABSTRAK

Studi ini dilakukan untuk mengetahui perubahan frekuensi pada alat musik Theremin pada saat dimainkan dengan menyesuaikan jarak tangan pemain dengan antena. Konsep dari Theremin ini adalah sebuah alat musik, dimana cara memainkan alat musik tersebut tidak menggunakan kontak fisik langsung terhadap alat tersebut, dimana menggunakan teori arus perpindahan yaitu suatu medan listrik yang berubah terhadap waktu yang dimana arus perpindahan itu akan terjadi ketika terdapat dua lempeng penghantar atau kapasitor pada suatu dielektrik yang diberikan tegangan dan akan menghasilkan medan listrik. Pada alat ini juga terdapat prinsip heterodinamis dimana terdapat dua frekuensi antena yang bercampur yang saling mengurangi sehingga menghasilkan frekuensi yang dapat didengar oleh telinga manusia

Pada eksperimen dapat dilihat hasilnya bahwa pada saat tangan pemain mendekati antena, frekuensi yang akan dihasilkan akan semakin besar sehingga menghasilkan nada yang lebih tinggi, begitu juga sebaliknya.

Kata Kunci : Theremin, Perubahan Frekuensi, Hukum Maxwell, Karakteristik *Pitch Controll*

Halaman ini sengaja dikosongkan

MUSICAL INSTRUMENT DESIGN BASED ON DISPLACEMENT CURRENT

Name : Muhammad Dwi Rifqi
1st Advisor : Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
2nd Advisor : Dr. Ir. Wirawan, DEA

ABSTRACT

This study was conducted to determine the frequency changes in Theremin instrument when in play position by adjusting the hand distance of the player with the antenna. The concept of Theremin is a musical instrument in which the way to play the instrument doesn't use direct physical contact with the instrument, which uses the theory of displacement current is an electric field which based on time changes and displacement current will occur when there are two plates of capacitor by given dielectric voltage and will generate an electric field. In this instrument there is also heterodynamic principle where there are two frequencies mixed and reducing each other to produce new frequency that can be heard by human.

In this experiment can be seen the result that when the player's hand approaching the antenna, the frequency generate will be greater to produce a higher note and vice versa.

Keywords: Theremin, Frequency changes, Maxwell's Law, Pitch
Control Characteristics

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur, kehadiran Allah Subhanahu wa ta'ala yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya Shalawat serta salam tidak lupa penulis panjatkan kepada Rasulullah Muhammad shallallahu 'alaihi wa sallam. Sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Rancang Bangun Alar Musik Berbasis Perubahan Arus Perpindahan ”.

Pengerjaan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan menyelesaikan pendidikan sarjana pada bidang Teknik Telekomunikasi Multimedia, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dalam pelaksanaan dan pembuatan Tugas Akhir ini tentunya sangat banyak bantuan yang penulis terima dari berbagai pihak. Melalui lembar ini, penulis ingin secara khusus menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Gamantyo Hendrantoro dan Bapak Wirawan selaku dosen pembimbing atas segala pengetahuannya dan waktunya dalam membimbing penulis sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis, Bapak Judi dan Ibu Ardiyah Sujaningsih yang telah memberikan nasihat, semangat, do'a serta dukungan materil maupun non-materil kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan tepat pada waktunya.
3. Kakak, serta keluarga besar yang selalu memberikan do'a, semangat serta dukungan kepada penulis selama mengerjakan Tugas Akhir
4. Seluruh dosen, staff, dan karyawan Jurusan Teknik Elektro FTE-ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
5. Teman-teman Angkatan 2013 atas semangat dan motivasi selama menempuh kuliah jurusan Teknik Elektro.
6. Teman-teman Laboratorium Antena dan Propagasi yang selalu membantu dan memberi dukungan serta hiburan kepada penulis selama mengerjakan Tugas Akhir.
7. Teman-teman Laboratorium Elektronika yang telah membantu dan mendukung kepada penulis selama mengerjakan Tugas Akhir.
8. Nadilla Citra yang selalu mendukung, mengingatkan dan memberi semangat untuk mengerjakan dan menyelesaikan Tugas Akhir

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dan berguna bagi penulis khususnya dan juga bagi para pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
TABLE OF CONTENT	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan	4
1.5 Metodologi Penelitian	4
1.6 Sistematika Pembahasan	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Teori Medan Elektromagnetik	9
2.1.1 Arus Perpindahan	9
2.1.2 Turunan Rumus Arus Perpindahan	10
2.1.3 Persamaan Maxwell	11
2.2 Heterodinamis	12
2.2.1 <i>Hartley Oscillator</i>	13
2.3 Sejarah Perkembangan Musik Elektronik dan Perangkat Theremin	15
2.3.1 Teknik Permainan Theremin	16
2.3.2 Cara Kerja Theremin	17
BAB III. METODE PERANCANGAN DAN PENGUKURAN THEREMIN	19
3.1 Identifikasi Masalah	19

3.2 Metodologi Penelitian	19
3.3 Rangkaian Peralatan dan Prosedur Perancangan.....	21
3.3.1 Rangkaian Theremin dan Analisa Rangkaian.....	22
3.3.2 Perancangan Alat Theremin	27
3.3.3 Pengukuran Alat Theremin	28
3.3.4 Kalibrasi Theremin	34
3.3.5 Pembuatan Casing Untuk Alat Theremin	36
3.3.6 Skenario Pengukuran	39
 BAB IV. ANALISA DATA DAN PENGUKURAN	41
4.1 Analisa Rangkaian Theremin	41
4.2 Analisa Rangkaian Theremin Saat Tidak Dimainkan	47
4.3 Analisa Theremin Pada Saat Sebelum dan Sesudah Alat Dimainkan.....	53
4.3.1 Analisa Posisi <i>Zero</i> Theremin	53
4.3.2 Analisa Pengaruh Pengukuran Ketinggian Antena dan Variasi Pemantul pada Theremin.....	55
4.4 Kalibrasi Theremin.....	61
 BAB V. PENUTUP	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	63
 DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN A PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR	67
LAMPIRAN B PENGUKURAN THEREMIN SEBELUM DIMAINKAN.....	69
B.1 Hasil Lebih Kecil Dari Frekuensi Refrensi	69
B.2 Hasil Lebih Besar Dari Frekuensi Refrensi	72
LAMPIRAN C HASIL PENGUKURAN FREKUENSI.....	75
RIWAYAT PENULIS	81

TABLE OF CONTENT

TITLE.....	i
STATEMENT SHEET.....	v
APPROVAL SHEET	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT.....	xi
PREFACE	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
TABLE OF CONTENT	xvii
LIST OF FIGURES.....	xix
LIST OF TABLES	xxi
BAB I. PREFACE.....	1
1.1 Back Ground	1
1.2 Problems	3
1.3 Scope of Problem	4
1.4 Purpose.....	4
1.5 Research Methodology.....	4
1.6 Systematic of Report Writing.....	6
BAB II. LITERATURE REVIEW	9
2.1 Electromagnetic Field Theory	9
2.1.1 Displacement Current.....	9
2.1.2 Displacement Current Formula	10
2.1.3 Maxwell Equation	11
2.2 Heterodinamic.....	12
2.2.1 Hartley Oscillator	13
2.3 History of Electronic Music and Theremin Devices.....	15
2.3.1 How to Play Theremin	16
2.3.2 Theremin works	17
BAB III. DESIGN AND MEASUREMENT METHODS OF THEREMIN.....	19
3.1 Identification Problem	19
3.2 Research Metodology	19
3.3 Circuits, Tools and Procedure Design	21

3.3.1 Theremin Circuits dan Circuit Analysis	22
3.3.2 Theremin Design	27
3.3.3 Theremin Measurement.....	28
3.3.4 Theremin Calibration	34
3.3.5 Making Case of Theremin.....	36
3.3.6 Measurement Scenarios.....	39
 BAB IV. DATA ANALYSIS AND MEASUREMENT	41
4.1 Theremin Circuits Analysis	41
4.2 Theremin Curcuits Analysis Before Played.....	47
4.3 Theremin Curcuits Analysis After Played	53
4.3.1 Theremin Analysis at Zero Position	53
4.3.2 Analysis of the Impact of Antenna Elevation and Thermodynamic Reflection Variation	55
4.4 Theremin Calibration	61
 BAB V. CLOSING	63
5.1 Conclusion	63
5.2 Suggestions	63
 BIBLIOGRAPHY	65
ATTACHMENT A APPROVAL SHEET	67
ATTACHMENT B THEREMIN MEASUREMENT BEFORE PLAYED	69
B.1 The Results Smaller than Refrence Frequency	69
B.2 The Results Bigger than Refrence Frequency	72
ATTACHMENT C FREQUENCY RESULT MEASUREMENT.....	75
CURRICULUM VITAE	81

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 1.1	Cara kerja Theremin 1
Gambar 2.1	Prinsip kerja arus perpindahan 9
Gambar 2.2	Prinsip heterodinamis 12
Gambar 2.3	Diagram <i>Schematic Hartley Oscillator</i> 14
Gambar 2.4	Prinsip pengoperasian Theremin 17
Gambar 3.1	Blok diagram perancangan dan pengukuran Theremin 20
Gambar 3.2	Modifikasi rangkaian Theremin 23
Gambar 3.3	LC meter 24
Gambar 3.4	Rangkaian refrensi 25
Gambar 3.5	Rangkaian penyetara 26
Gambar 3.6	Rangkaian amplifier 27
Gambar 3.7	Hasil perancangan Theremin 28
Gambar 3.8	Pengukuran theremin sebelum dimainkan 29
Gambar 3.9	Pengukuran pada rangkaian refrensi 30
Gambar 3.10	Pengukuran pada rangkaian penyetara 31
Gambar 3.11	Pengukuran Theremin saat dimainkan 33
Gambar 3.12	<i>Pitch pipe</i> 35
Gambar 3.13	<i>Chromatic tuner</i> 35
Gambar 3.14	Design tampak depan 36
Gambar 3.15	Design tampak samping 37
Gambar 3.16	Casing tampak depan 38
Gambar 3.17	Casing tampak belakang 38
Gambar 4.1	Rangkaian Theremin 41
Gambar 4.2	Frekuensi minimum rangkaian penyetara 43
Gambar 4.3	Frekuensi maksimum rangkaian penyetara 44
Gambar 4.4	Frekuensi refrensi 46
Gambar 4.5	Hasil osiloskop tangga nada pertama dibawah frekuensi refrensi 49
Gambar 4.6	Hasil osiloskop tangga nada pertama diatas frekuensi refrensi 51
Gambar 4.7	Frekuensi <i>zero</i> Theremin 53
Gambar 4.8	Grafik hasil pengukuran pada ketinggian antena 10 cm 55
Gambar 4.9	Grafik hasil pengukuran pada ketinggian antena 56

	18 cm	
Gambar 4.10	Grafik hasil pengukuran pada ketinggian antenna	57
	24 cm	
Gambar 4.12	Hasil nada do pada aplikasi <i>spectrum analyzer</i>	60
Gambar A	Lampiran Pnegesahan Proposal	66
Gambar B.1	Hasil osiloskop tangga nada kedua dibawah frekuensi refrensi	68
Gambar B.2	Hasil osiloskop tangga nada ketiga dibawah frekuensi refrensi	69
Gambar B.3	Hasil osiloskop tangga nada keempat dibawah frekuensi refrensi	69
Gambar B.4	Hasil osiloskop tangga nada kelima dibawah frekuensi refrensi	70
Gambar B.5	Hasil osiloskop tangga nada kedua dibawah frekuensi refrensi	71
Gambar B.6	Hasil osiloskop tangga nada ketiga dibawah frekuensi refrensi	72
Gambar B.7	Hasil osiloskop tangga nada keempat dibawah frekuensi refrensi	72
Gambar B.8	Hasil osiloskop tangga nada kelima dibawah frekuensi refrensi	73
Gambar B.9	Hasil osiloskop tangga nada keenam dibawah frekuensi refrensi	73
Gambar C.1	Hasil nada re pada aplikasi <i>spectrum analyzer</i>	74
Gambar C.2	Hasil nada mi pada aplikasi <i>spectrum analyzer</i>	75
Gambar C.3	Hasil nada fa pada aplikasi <i>spectrum analyzer</i>	75
Gambar C.4	Hasil nada sol pada aplikasi <i>spectrum analyzer</i>	76
Gambar C.5	Hasil nada la pada aplikasi <i>spectrum analyzer</i>	76
Gambar C.6	Hasil nada si pada aplikasi <i>spectrum analyzer</i>	77
Gambar C.7	Hasil nada do'pada aplikasi <i>spectrum analyzer</i>	77
Gambar C.8	Hasil nada re' pada aplikasi <i>spectrum analyzer</i>	78
Gambar C.9	Hasil nada mi' pada aplikasi <i>spectrum analyzer</i>	78
Gambar C.10	Hasil nada fa' pada aplikasi <i>spectrum analyzer</i>	79

DAFTAR TABEL

		Hal
Tabel 2.1	Tabel frekuensi nada dasar dan oktaf	15
Tabel 4.1	Tabel hasil pengukuran pada ketinggian antena 10 cm	56
Tabel 4.2	Tabel hasil pengukuran pada ketinggian antena 18 cm	57
Tabel 4.3	Tabel hasil pengukuran pada ketinggian antena 24 cm	58
Tabel 4.4	Tabel hasil pengukuran terbaik pada perangkat Theremin	58
Tabel 4.5	Kalibrasi Theremin	61

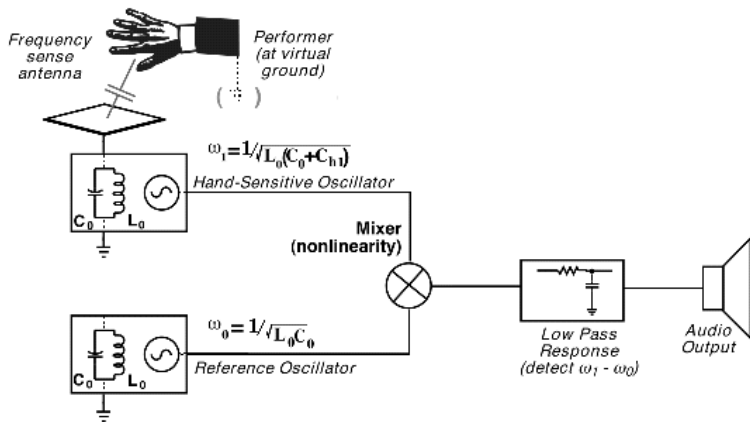
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri kreatif musik dengan menciptakan alat musik elektronik di Indonesia dibutuhkan kreativitas dan perkembangan dalam dunia musik elektronik. Seperti yang kita tahu bahwa alat musik elektronik ini memiliki ragam musik elektronik yang perkembangannya belum signifikan. Perkembangan musik Theremin di Indonesia masih terbilang jarang bahkan banyak masyarakat Indonesia yang belum mengetahui alat tersebut. Theremin adalah alat musik yang dimana cara memainkan alat musik tersebut yaitu menggunakan tangan pemain tanpa menyentuh alat tersebut, perubahan nada tersebut akan diatur melalui jarak pemain dengan antenna dari Theremin tersebut[1].



Gambar 2.1 Cara kerja Theremin

Pada Medan Elektromagnetik terdapat konsep Arus Perpindahan yang merupakan cara kerja dari alat Theremin ini, dimana menjelaskan bagaimana suatu medan listrik yang berubah terhadap waktu akan menghasilkan suatu medan magnet karena adanya arus perpindahan tersebut. Arus perpindahan ini akan terjadi ketika terdapat dua lempeng kapasitor yang diberikan tegangan yang berubah terhadap waktu yang disusun secara paralel sehingga kedua lempeng tersebut akan menghasilkan medan listrik. Pada teori arus perpindahan ini juga akan

menjelaskan keterkaitan dengan persamaan Maxwell bahwa medan listrik dan arus perpindahan ini dapat menimbulkan suatu medan magnet[2].

Pada alat Theremin ini juga terdapat prinsip heterodinamis, dimana prinsip tersebut menjelaskan pencampuran antara dua frekuensi yang akan menghasilkan frekuensi resonansi baru, dengan menggunakan rumus heterodinamis,

$$f_r = f_{ref} - f_x$$

Dimana, f_r = frekuensi resonansi

f_{ref} = frekuensi referensi

f_x = frekuensi penyetara

Dua frekuensi yang berada pada Theremin ini dihasilkan pada rangkaian yang digunakan yaitu rangkaian referensi dan rangkaian penyetara dengan nilai yang ditentukan oleh nilai dari masing-masing induktor dan kapasitor[3]. Pada prinsip heterodinamis ini diharapkan frekuensi resonansi yang dihasilkan dari pencampuran dua frekuensi tersebut menghasilkan frekuensi yang sama yaitu pada saat posisi alat bernilai *zero* dimana Theremin dalam posisi diam atau tidak mengeluarkan suara, yang nantinya cara merubah penggunaan frekuensi sehingga menghasilkan suara tersebut akan digunakan *device* antena yang berfungsi sebagai pengubah kapasitansi yang akan diganggu medan dielektriknya menggunakan tangan pemain sehingga terjadi perubahan frekuensi *output* yang dihasilkan.

Pada rangkaian yang digunakan pada Theremin ini juga akan dilakukan analisa terkait jenis osilator yang digunakan, yaitu osilator Hartley dimana osilasi ini bekerja pada saat terdapat sambungan dari pusat induktor yang diserikan atau menarik *tapped coil* induktor dari pusat yang dihubungkan ke komponen transistor pada bagian emitter[4]. Osilator ini juga memiliki pengaturan pada induktor dan kapasitor untuk mendapatkan hasil berupa frekuensi resonansi. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi frekuensi yang dihasilkan pada alat ini yaitu nilai dari komponen untuk pembuatan alat tersebut. Penggunaan kapasitor, induktor dan variabel kapasitor pada rangkaian Theremin ini dapat mempengaruhi frekuensi resonansi yang dihasilkan pada saat alat tersebut sebelum dimainkan, dengan menggunakan rumus frekuensi resonansi :

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Dimana, f_r = frekuensi resonansi

L = nilai induktor

C = nilai kapasitor

Frekuensi resonansi ini berbanding lurus dengan nilai dari kapasitor dan induktor yang digunakan, semakin besar nilai induktor dan kapasitor yang digunakan, maka frekuensi resonansi yang dihasilkan akan semakin kecil. Pada alat ini frekuensi resonansi yang diinginkan bernilai besar sehingga penggunaan komponen induktor dan kapasitor harus bernilai kecil karena semakin besar frekuensi yang dihasilkan pada rangkaian tersebut dapat mempengaruhi jarak nada yang dihasilkan antara antena dengan tangan dari pemain. Pada dasarnya pada saat alat tersebut belum dimainkan, tidak terdapat bunyi yang akan terdengar oleh telinga manusia. Karena penggunaan komponen yang sangat kecil (nano – pico) maka frekuensi resonansi tersebut bekerja pada frekuensi lebih dari 20KHz dimana tidak dapat didengar oleh pendengaran manusia. Tetapi pada saat alat tersebut mulai dimainkan terjadilah prinsip heterodinamis yang dimana frekuensi refrensi dan frekuensi penyetara akan dilakukan pengurangan sehingga akan menghasilkan frekuensi yang baru, yang dapat didengar oleh telinga manusia. Hasil dari perhitungan rumus frekuensi resonansi tersebut dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran langsung menggunakan osiloskop[5].

1.2 Permasalahan

Berdasarkan uraian diatas penelitian ini berjudul “Rancang Bangun Alat Musik Berbasis Perubahan Arus Perpindahan” Permasalahan yang akan dibahas dalam studi ini yaitu menganalisa frekuensi yang dihasilkan dari alat Theremin dengan dua metode, yaitu analisa pengukuran Theremin pada saat tidak dimainkan yang artinya Theremin tidak menggunakan *device* antena dan kontrol suara yang dihasilkan dari Theremin ini akan dikendalikan dengan pengubahan nilai variabel kapasitor, yang dilanjutkan dengan analisa pengukuran Theremin pada saat alat tersebut dimainkan. Setelah dilakukan pengukuran kedua metode tersebut akan dilihat hasil dari jarak nada yang dihasilkan. Dan juga permasalahan lain yang akan dibahas adalah terkait Kalibrasi nada dasar dari Theremin.

1.3 Batasan Masalah

Dalam menyelesaikan permasalahan pada studi ini diperlukan batasan permasalahan. Pada pembuatan alat Theremin ini batasan masalah yang pertama adalah pembuatan rangkaian pada bagian *pitch controll* atau pengaturan nada saja yang tidak disertai dengan pembuatan rangkaian pada bagian *volume controll*, dan nantinya pengaturan *volume* dari perangkat Theremin ini akan diatur menggunakan *amplifier* yang terhubung langsung pada rangkaian. Dan batas permasalahan kedua adalah jarak nada yang diharapkan dapat mencapai 1 oktaf pada saat Theremin tersebut dimainkan.

1.4 Tujuan

Tujuan dan manfaat dari penelitian terkait perancangan Theremin ini adalah dapat membuat suatu inovasi baru dalam perkembangan dunia musik, dapat menginspirasi para musisi untuk membuat atau memainkan Theremin dan juga dapat mengetahui faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi terkait frekuensi yang dihasilkan Theremin. Tujuan lain dari pembuatan Theremin ini juga adalah untuk mengembangkan industri kreatif musik elektronik yang ada di Indonesia melihat perkembangan Theremin di Indonesia ini masih terbilang jarang bahkan banyak warga Indonesia yang tidak mengetahui instrumen musik Theremin ini.

1.5 Metode Penelitian

Dalam studi ini, diperlukan metode penelitian yang tepat agar pelaksanaan studi sesuai dengan perencanaan. Metode penelitian pada studi ini meliputi studi literatur, prosedur perancangan alat, pengujian alat, analisa data yang dihasilkan dan kesimpulan.

Dalam studi literatur, pengumpulan materi dan mempelajari referensi dilakukan untuk mencari pengertian, berbagai tulisan yang berhubungan dengan studi ini dan juga beberapa referensi hasil terkait analisa frekuensi terhadap jarak antena dengan pemain. Beberapa kata kunci untuk studi literatur ini seperti, Theremin, perubahan arus perpindahan, prinsip heterodinamis, frekuensi resonansi dan juga persamaan Maxwell. Dari literatur yang didapat akan dijadikan pendukung dalam studi ini.

Setelah studi literatur terlaksana selanjutnya adalah proses prosedur pembuatan alat, pada proses pembuatan alat ini hal pertama yang dicari adalah mencari rangkaian Theremin terlebih dahulu yang

didapatkan pada www.thereminworld.com, setelah didapatkan rangkaian tersebut akan dilakukan analisa lebih lanjut terhadap rangkaian tersebut, setelah itu membeli komponen yang dibutuhkan yang disertakan dengan analisa komponen yang digunakan pada rangkaian tersebut. Dalam perancangan alat ini digunakan beberapa komponen yang akan dikaji lebih lanjut karena sangat berpengaruh pada perhitungan frekuensi resonansi seperti induktor, kapasitor NPO dan juga variabel kapasitor untuk mencari frekuensi yang tepat pada saat alat tersebut dimainkan. Setelah prosedur perancangan sudah selsai akan dilanjutkan dengan metode-metode pengujian untuk Theremin. Dan pada prosedur ini juga akan dijelaskan pembuatan casing untuk rangkaian Theremin yang sudah direalisasikan.

Setelah melakukan perancangan alat, dilanjutkan dengan pengujian pada alat tersebut. Pada tahap pengujian alat ini nantinya akan digunakan dua metode yaitu pada metode pertama adalah pengujian pada Theremin saat alat tidak dimainkan, dimana alat tersebut tidak menggunakan antena dan kontrol suara yang dikeluarkan akan dikendalikan menggunakan variabel kapasitor. Dan pada metode kedua akan dilakukan pengujian Theremin pada saat alat tersebut dimainkan, pada metode kedua ini pengukuran akan dilakukan dengan ketinggian antena dan variasi pemantul yang berbeda yang hasilnya akan dibandingkan. Serta akan menjelaskan kalibrasi Theremin terkait nada dasar yang dihasilkan dan pembuatan *casing* Theremin.

Setelah melakukan pengujian alat, dilakukan analisa data terkait kedua metode yang telah dilakukan. Hasil dari pengukuran tersebut akan dilakukan dengan menggunakan perhitungan langsung dengan menggunakan rumus frekuensi resonansi dan heterodinamis yang akan dibandingkan dengan hasil keluaran dari osiloskop. Analisa data pada metode tersebut terkait dengan jarak nada suara serta frekuensi yang dihasilkan.

Tahap terakhir adalah memberikan kesimpulan terkait karakteristik frekuensi yang dihasilkan pada saat alat tersebut tidak dimainkan agar mendapatkan posisi *zero* dan jarak nada pada saat alat tidak dimainkan, karakteristik frekuensi saat alat dimainkan terkait jarak antara antena dengan tangan pemain dengan variasi ketinggian antena yang berbedan dan pemantul menggunakan tangan pemain, penggaris dan buku tebal. Perbandingan jarak nada saat Theremin dimainkan dan tidak dimainkan, dan juga kesimpulan mengenai perhitungan langsung yang dibandingkan dengan hasil yang tertera pada osiloskop yang akan

dilanjutkan dengan pembahasan terkait faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan jarak dari Theremin.

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan terkait penelitian studi ini terdiri dari lima bab, setiap bab memiliki ruang lingkup pembahasannya masing-masing.

Bab pertama merupakan pendahuluan yang bersisi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan laporan.

Bab kedua menjelaskan tentang prinsip kerja dari alat Theremin yang meliputi, cara kerja dan teknik permainan Theremin, penjelasan tentang arus perpindahan, prinsip heterodinamis, frekuensi resonansi, persamaan Maxwell.

Bab ketiga akan membahas tentang pencarian rangkaian Theremin serta analisa dari rangkaian Theremin yang didapatkan, yang dilanjutkan dengan perancangan alat terkait penggunaan komponen yang digunakan, selanjutnya metode pengujian yang akan membahas dua metode pengujian yaitu metode pertama yaitu pada saat Theremin tidak dimainkan, kontrol suara yang dihasilkan dari variabel kapasitor yang hasilnya akan dilakukan perhitungan langsung menggunakan frekuensi resonansi dengan hasil dari osiloskop, dilanjutkan dengan metode kedua yaitu pengujian pada saat Theremin dimainkan terkait penempatan kondisi *zero*, jarak antar antenna dengan pemain pada ketinggian antenna yang berbeda. Selanjutnya dilakukan dengan proses kalibrasi Theremin untuk menyesuaikan nada dasar dengan alat musik lain. Dan yang terakhir adalah pembuatan *casing* untuk Theremin.

Bab keempat akan membahas mengenai hasil dari pengukuran serta pengujian alat tersebut dan analisa dari alat Theremin terkait rangkaian yang digunakan. Pengujian ini akan dilakukan dengan beberapa cara yaitu dengan perbandingan perhitungan langsung frekuensi resonansi yang dihasilkan dengan hasil dari osiloskop pada saat Theremin tidak dimainkan maupun dimainkan serta. Dan juga analisa hasil nada yang dikeluarkan dari alat Theremin yang disesuaikan antara jarak antenna dengan tangan pemain serta kalibrasi dari nada dasar Theremin.

Bab kelima merupakan penutup dari perancangan dan hasil pengujian dari alat Theremin. Bab lima berisikan kesimpulan dari hasil pengujian yang dilakukan. Kesimpulan ini diambil melalui pengukuran dan pengujian alat secara manual dengan melakukan perhitungan yang

diandingan dengan hasil dari dari keluaran osiloskop langsung. Dan juga kesimpulan terkait nada yang dikeluarkan yang disesuaikan dengan jarak pemain dengan antena.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

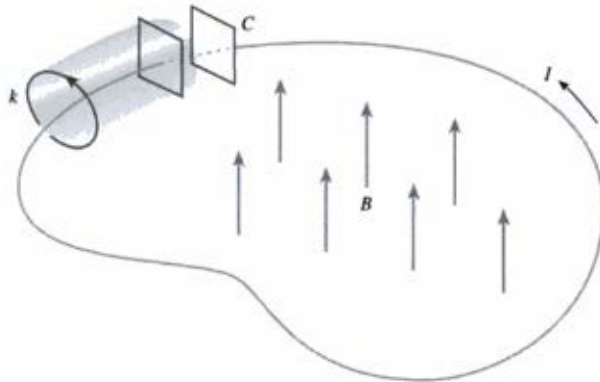
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Medan Elektromagnetik

Pada Teori Medan Elektromagnetik terdapat sebuah teori yaitu teori arus perpindahan, dimana teori ini akan menjelaskan bahwa medan listrik yang dihasilkan dari dua buah kapasitor dapat menghasilkan sebuah arus perpindahan dan juga penyempurnaan teori arus perpindahan ini oleh persamaan Maxwell yang akan dikaitkan dengan perangkat Theremin.

2.1.1 Arus Perpindahan

Teori Arus Perpindahan ini menjelaskan bagaimana sebuah medan listrik yang akan berubah terhadap waktu yang akan menghasilkan medan magnet karena adanya arus perpindahan. Dan juga menjelaskan bahwa arus perpindahan ini akan bekerja pada saat arus listrik pada medan tersebut bernilai nol. Prinsip kerja arus perpindahan dapat dijelaskan dari gambar dibawah.



Gambar 2.1 Prinsip kerja arus perpindahan

Dalam gambar 2.1 tersebut dapat dilihat prinsip kerja dari arus perpindahan. Pelat konduktor (k) akan membentuk sebuah *loop* yang menghubungkan antara dua pelat kapasitor (c) yang sejajar. Pada daerah yang berada dilingkaran *loop* tersebut terdapat sebuah medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu dan akan

menghasilkan gaya gerak listrik (GGL), diantara dua keping kapasitor sejajar yang dilambangkan dengan garis putus-putus itulah yang akan menghasilkan arus perpindahan. pada posisi tersebut arus perpindahan akan bekerja dan arus listrik yang terdapat pada medan tersebut atau pada lingkaran yang membentuk sebuah *loop* tersebut akan bernilai nol. Pelat konduktor ini juga dapat mempengaruhi arus, masih terdapat kemungkinan bahwa arus perpindahan dapat tercampur juga dengan arus listrik karena terdapat medan yang dapat menembus pelat konduktor tersebut walaupun memiliki nilai arus yang kecil.

2.1.2 Turunan Rumus Arus Perpindahan

Turunan rumus Arus perpindahan ini berawal dari Hukum Integral Ampere

$$\oint H \cdot dL = I + Id \quad (2.1)$$

Dengan Teorema Stokes

$$\oint H \cdot dL = \int_S (\nabla \times H) \cdot dS \quad (2.2)$$

Dimana hubungan antara medan (H) dengan kerapatan arus perpindahan (J_c) adalah

$$(\nabla \times H) = J_c \quad (2.3)$$

Sehingga didapatkan rumus dari arus perpindahan

$$Id = \int_S \bar{J} \cdot d\bar{S} = \int_S \frac{\partial \bar{D}}{\partial t} \cdot d\bar{S} = \frac{d}{dt} \int_S \bar{D} \cdot d\bar{S} \quad (2.4)$$

Pada gambar 2.1 terdapat jalur *loop* tertutup dan terdapat nilai medan magnet pada jalur yang melingkupi jalur tersebut. Dapat dilihat Arus (I) pada gambar tersebut berada diluar lingkaran *loop* yang artinya arus konduksi ini dapat menyebrangi *loop* tersebut sehingga menjadikan jalur yang dibuat oleh pelat konduktor tersebut sebagai *loop*. Maka dapat dikatakan bahwa arus (I) ini adalah arus konduksi yang mengalir pada lingkaran *loop* tersebut. Arus konduksi yang menyebrangi jalur *loop* tersebut akan bernilai nol

dikarenakan arus ini tidak dapat menembus jalur yang telah dibuat oleh pelat konduktor tersebut yang dapat diartikan tidak adanya arus konduksi pada kasus tersebut, tetapi dikarenakan adanya dua pelat kapasitor yang dapat menghasilkan arus perpindahan.

Nilai dari arus perpindahan ini sama dengan nilai dari arus konduksi yang berada pada aliran *loop* tersebut, sehingga pada penerapan Hukum Integral Ampere ini juga menyertakan terkait arus perpindahan. Pada permukaan pelat induktor masih terdapat kemungkinan bahwa adanya arus konduksi tetapi pada dua pelat kapasitor arus konduksi tersebut akan bernilai nol dan hanya terdapat arus perpindahan. Pelat kapasitor tersebut menyimpan muatan yang besar sehingga dapat diartikan bahwa medan listrik yang dihasilkan oleh kedua pelat kapasitor tersebut akan memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan bocoran dari arus konduksi terhadap pelat konduktor. Karena didalam pelat kapasitor terdapat

$$D = \epsilon E = \epsilon \left(\frac{Vo}{d} \right) \cos wt \quad (2.5)$$

Dapat diartikan juga bahwa rumus dari arus perpindahan ini adalah

$$Id = -w \frac{\epsilon S}{d} Vo \sin wt \quad (2.6)$$

2.1.3 Persamaan Maxwell

Pada persamaan Maxwell ini dilakukan penyempurnaan teori terhadap arus perpindahan dimana koreksi Maxwell terhadap Hukum Ampere yang menyatakan bahwa perubahan medan listrik dan arus perpindahan dapat menimbulkan suatu medan magnet. Pada penggunaan alat Theremin ini medan magnet yang dihasilkan berupa dielektrik udara yang akan diganggu oleh pemain, dengan demikian meskipun tidak ada suatu muatan listrik atau arus listrik, masih terdapat kemungkinan memiliki gelombang osilasi medan magnet dan medan magnet yang stabil dan menjalar secara terus menerus.

$$\nabla \times H = Jc + Jd \quad (2.7)$$

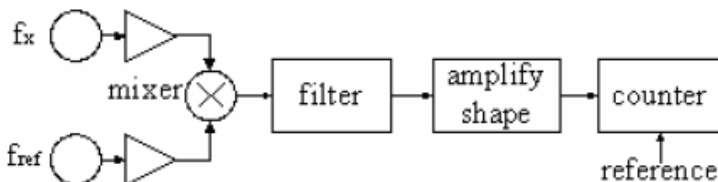
Dimana

$$Jd = \frac{\partial D}{\partial t} \quad (2.8)$$

Persamaan Maxwell tersebut nantinya akan dimasukkan ke dalam persamaan pada turunan rumus arus perpindahan untuk mendapatkan rumus dari arus perpindahan yang tertera pada pembahasan sebelumnya[1].

2.2 Heterodinamis

Metode Heterodinamis adalah suatu metode pengukuran frekuensi dengan nilai frekuensi yang tinggi. Pada theremin ini prinsip heterodinamis digunakan untuk menghasilkan suatu sinyal *audio* dimana memiliki prinsip kerja sebagai berikut.



Gambar 2.2 Prinsip kerja heterodinamis

Frekuensi yang pertama dihasilkan dari rangkaian refrensi atau frekuensi refrensi (f_{ref}) dan yang kedua adalah frekuensi yang dihasilkan dari rangkaian penyetara (f_x). Kedua frekuensi tersebut akan selanjutnya akan digabungkan pada mixer dan akan menghasilkan frekuensi resonansi. Frekuensi resonansi ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus[2].

$$f_r = f_{ref} - f_x \quad (2.9)$$

Dimana, f_r = frekuensi resonansi
 f_{ref} = frekuensi refrensi
 f_x = frekuensi penyetara

Pada alat Theremin frekuensi referensi dihasilkan pada rangkaian referensi pada rangkaian Theremin dan f_x dihasilkan dari rangkaian penyetara, dimana untuk memainkan Theremin ini frekuensi osilasi yang dihasilkan dari pengurangan frekuensi referensi dan f_x tersebut sampai mendapatkan nilai yang sama sehingga menghasilkan posisi *zero*[3]. Setelah mendapatkan posisi *zero* akhirnya akan mendapatkan frekuensi resonansi karena pada posisi *zero* tersebut sudah memenuhi persyaratan frekuensi resonansi yaitu

$$\omega L = \omega C \quad (2.10)$$

Atau

$$j\omega L = \frac{1}{j\omega C} \quad (2.11)$$

Dimana penjelasan dari kedua rumus tersebut adalah nilai dari kapasitor dan induktor pada rangkaian tersebut memiliki nilai yang sama sehingga dapat mendapatkan posisi *zero*. Setelah memenuhi persyaratan frekuensi resonansi tersebut dapat digunakan rumus

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.12)$$

Dimana, f_r = frekuensi resonansi

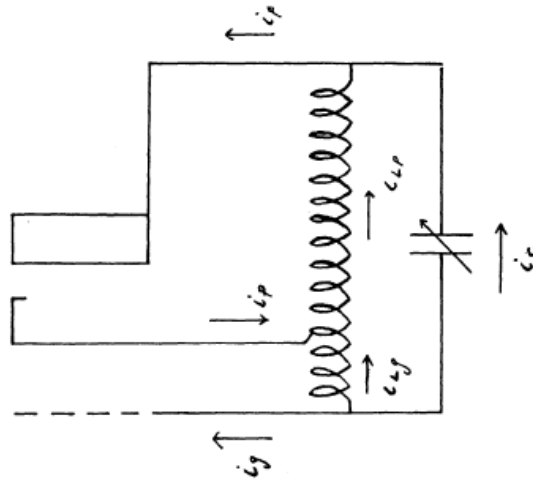
L = nilai induktor

C = nilai kapasitor

2.2.1 *Hartley Oscillator*

Hartley Oscillator adalah jenis osilator yang bekerja pada saat terdapat rangkaian yang dilakukan pengaturan pada induktor dan kapasitor dengan susunan paralel. *Hartley oscillator* ini memiliki fungsi untuk mencari frekuensi resonansi pada suatu rangkaian yang ditentukan dari nilai kapasitor dan induktor yang sesuai dengan osilasi tersebut. Untuk melihat hasil osilasi diperlukan koneksi dari pusat induktor yang diseri atau menarik *tapped coil* induktor dari

pusat yang terhubung dengan suatu komponen yaitu transistor pada bagian emitter[4].



Gambar 2.3 Diagram *Schematic Hartley Osilator*

Pada diagram *schematic* tersebut dalam dijelaskan bahwa arus i_p masuk kedalam induktor, dan pada induktor memiliki sifat reverse yang artinya arus bulak balik yang digambarkan dengan i_{lf} dan i_{lp} . Arus i_{lf} akan diteruskan ke kapasitor yang digambarkan sebagai i_c , disitulah terjadinya frekuensi resonansi dari Theremin tersebut sedangkan arus i_p akan diteruskan ke komponen lain tetapi pada kasus ini Theremin yang digunakan tidak ada komponen lain yang diteruskan untuk arus i_p . Sedangkan arus i_{lf} tersebut akan diteruskan ke i_g atau komponen yang berada pada Theremin, pada rangkaian yang digunakan arus i_g tersebut akan diteruskan pada komponen kapasitor. Pada osilasi Harlley ini dapat ditentukan frekuensi resonansinya dari nilai induktor dan kapasitor yang pertama ($L1$ dan $C1$) sedangkan kapasitor lainnya berfungsi sebagai kopling AC. Sumber dari Hartley osilator ini menggunakan sumber DC, selanjutnya arus dari sumber DC tersebut masuk ke dalam collector dari transistor dan dilanjutkan ke output dari transistor tersebut yaitu pada emitter transistor. Emitter dari transistor tersebut

dilanjutkan ke pusat dari induktor yang diseri atau pusat dari tapped coil induktor. Penambahan komponen resistor atau nilai dari induktor dapat mempengaruhi arus yang dikirim dan berfungsi juga sebagai penyangga dari arus tersebut tetapi tegangannya memiliki nilai yang sama dengan input dari osilasi tersebut. Kapasitor yang disejajarkan dengan induktor tersebut berfungsi sebagai pengatur frekuensi resonansi dari rangkaian yang dibuat. Arus yang masuk pada induktor coil tersebut akan di reverse kan sehingga arus yang akan dikeluarkan menjadi rendah dan dilanjutkan ke base pada emitter dan akan terjadi frekuensi *cut off* yaitu frekuensi saat dayanya diturunkan. Setelah melalui *cut off*, penambahan resistor yang diserikan pada base transistor akan dapat menyalakan frekuensi *cut off* tersebut menjadi *cut on* begitu juga seterusnya osilasi akan bekerja terus berputar pada rangkaian tersebut dan menghasilkan kopling AC. Berikut adalah penjelasan dari perubahan sumber DC karena adanya kopling AC dan Hartley *oscillator* berdasarkan rangkaian yang akan dibuat.

2.3 Sejarah Perkembangan Musik Elektronik dan Perangkat Theremin

Sejarah perkembangan musik elektrik di dunia sangatlah pesat 100 Tahun belakangan ini, dimana terdapat ratusan nama teknisi di bidang elektronik yang juga ikut mengembangkan penelitiannya di bidang musik. Diagram rangkaian Theremin pada tahun 1950 pernah menggambarkan lebih dari 200 nama musisi dan komposer yang dituliskan satu per satu pada rangkaian Theremin tersebut. Perkembangan musik elektrik ini juga diikuti dengan adanya beberapa jenis musik atau genre yang terus berkembang di dunia musik. Pada rangkaian Theremin yang dituliskan beberapa nama pengembang musik di dunia tersebut, terdapat satu nama pengembang pada diagram rangkaian tersebut yaitu Leon Theremin. Pada perkembangan dunia musik ini juga memunculkan berbagai perkembangan seperti jarak frekuensi nada dasar serta oktaf yang ditunjukkan dengan frekuensinya masing-masing yang dimana frekuensi tersebut berfungsi untuk memadukan antara beberapa alat musik[5]. Pada kasus ini frekuensi yang akan dilakukan proses kalibrasi adalah Theremin.

Tabel 2.1 Tabel frekuensi nada dasar dan oktaf

	1	2	3	4	5	6	7
C	32,703	65,406	130,81	261,63	523,25	1046,5	2093,0
C#	34,648	69,296	138,59	277,18	554,37	1108,7	2217,5
D	36,708	73,416	146,83	293,66	587,33	1174,7	2349,3
D#	38,891	77,782	155,56	311,13	622,25	1244,5	2489,0
E	41,203	82,407	164,81	329,63	659,26	1318,5	2637,0
F	43,654	87,307	174,61	349,23	698,46	1396,9	2793,8
F#	46,249	92,499	185,00	369,99	739,99	1480,0	2960,0
G	48,999	97,999	196,00	392,00	783,99	1568,0	3136,0
G#	51,913	103,83	207,65	415,30	830,61	1661,2	3322,4
A	55,000	110,00	220,00	440,00	880,00	1760,0	3520,0
A#	59,270	116,54	233,08	466,16	932,33	1864,7	3729,3

Pada Tabel tersebut dijelaskan bahwa setiap nada dasar dan oktaf memiliki frekuensi yang berbeda yang akan disesuaikan dengan frekuensi yang dihasilkan dari alat musik[6].

Theremin adalah sebuah alat musik yang dimainkan dengan cara tidak menggunakan kontak fisik langsung dengan alat yang dimainkan[7]. Dalam theremin ini terdapat pengaturan dengan menggunakan dua antena yang pertama adalah pengaturan *pitch* atau tinggi rendahnya suara yang dimana pengaturan *pitch* ini berpengaruh pada frekuensi dan antena yang kedua adalah untuk pengaturan *volume* atas besar kecilnya nada yang dimana pengaturan *volume* ini berpengaruh pada amplitudo. Yang biasa dilakukan oleh pemain Theremin ini adalah menggunakan tangan kanan sebagai pengatur *pitch* dan tangan kiri yang mengatur *volume* yang dimana tangan tersebut mendekati atau menjauhi antena untuk menghasilkan frekuensi dan amplitudo yang berbeda[8].

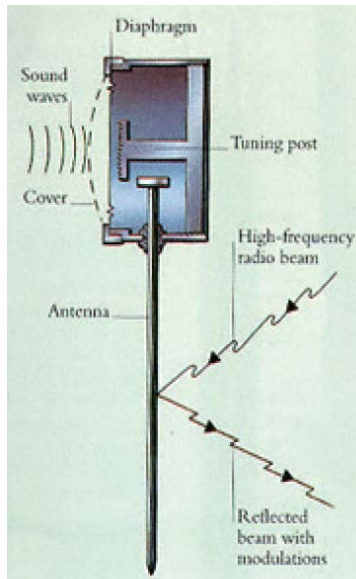
2.3.1 Teknik Permainan Theremin

Teknik permainan dari Theremin bisa dikatakan sangat sulit karena pemain harus mensinkronasikan kedua tangan dengan kedua antena tersebut, dimana diharapkan pemain dapat mengendalikan pengaturan nada dan *volume* secara bersamaan. Biasanya pemain theremin ini menggunakan tangan kananya untuk mengatur tinggi rendahnya nada, sedangkan tangan kirinya untuk

mengatur besar kecilnya suara yang dihasilkan. Mengapa theremin ini terbilang sulit untuk dimainkan, dikarenakan theremin ini memiliki perbedaan dengan instrumen lain seperti halnya gitar atau piano yang dimana sudah tersedia kunci untuk memainkan alat tersebut sehingga suaranya terdengar bagus, sedangkan theremin ini hanya bergantung pada pendengaran pemain saja. Theremin ini juga memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi karena sedikit gerakan tangan saja mendekati atau menjauhi antena akan menghasilkan keluaran nada dan *volume* yang berbeda. Jadi dalam memainkan theremin ini dibutuhkan tingkat kemampuan dan konsentrasi yang tinggi dalam penempatan posisi tangan agar dapat menghasilkan suara yang dapat terdengar bagus oleh para penikmat musik Theremin[9].

2.3.2 Cara Kerja Theremin

Cara kerja Theremin ini adalah dengan menggerakkan tangan pemain mendekat dan menjauhi antena pada *pitch control* maupun *volume control*. Tangan pemain tersebut akan mengubah kapasitansi yang berada pada sirkuit tersebut yang akan merubahnya menjadi frekuensi osilasi. Penggunaan antena tidak dengan spesifikasi yang jelas tidak terlalu dibutuhkan dalam Theremin ini karena antena disini berfungsi untuk mengubah kapasitansi dari kapasitor yang terdapat pada rangkaian tersebut. Theremin ini juga memiliki 2 frekuensi yang akan saling mengurangi sehingga menghasilkan suatu suara, yang diharapkan sebelum memainkan Theremin tersebut adalah Theremin berada pada posisi diam yang artinya kedua frekuensi yang dihasilkan sebelum dimulai permainan memiliki nilai yang sama sehingga frekuensi bernilai *zero* atau nol. Cara kerja Theremin ini juga diadopsi dari teori arus perpindahan medan elektromagnetik dimana terdapat dua kapasitor yaitu antena dan tangan pemain. Tangan pemain ini akan mengganggu dielektrik udara mendekat dan menjauhi antena yang akan mengubah nilai kapasitansi dari kapasitor pada rangkaian Theremin tersebut[10]. Frekuensi yang berubah-ubah yang dihasilkan dari Theremin tersebut disebabkan oleh kapasitansi tubuh yang dimana jika bersandar pada suatu lempengan atau logam, kapasitansi tersebut akan menghasilkan nilai kapasitansi yang lebih besar dan juga tidak akan bekerja jika tangan pemain tersebut berada di atas lempengan tersebut.



Gambar 2.4 Prinsip pengoperasian Theremin

Prinsip pengoperasian Theremin ini adalah antenna yang dapat mengubah frekuensi resonansi yang dimana menggunakan frekuensi tinggi atau frekuensi radio. Fungsi antenna pada Theremin ini dapat menjadi *transmitter* (pemancar) dan *receiver* (penerima), antenna pada Theremin ini akan memancarkan sinyal termodulasi yang tersebar di udara berupa dielektrik yang akan diganggu oleh tangan pemain sehingga sinyal pancaran tersebut akan direfleksikan dan diterima kembali ke antenna dengan jarak yang ditentukan oleh tangan pemain.

BAB 3

METODE PERANCANGAN DAN PENGUKURAN THEREMIN

Dalam bab ini akan dijelaskan tentang identifikasi masalah, metodologi penelitian, dan eksperimen untuk mengetahui frekuensi yang dihasilkan dari perancangan Theremin yang telah dibuat.

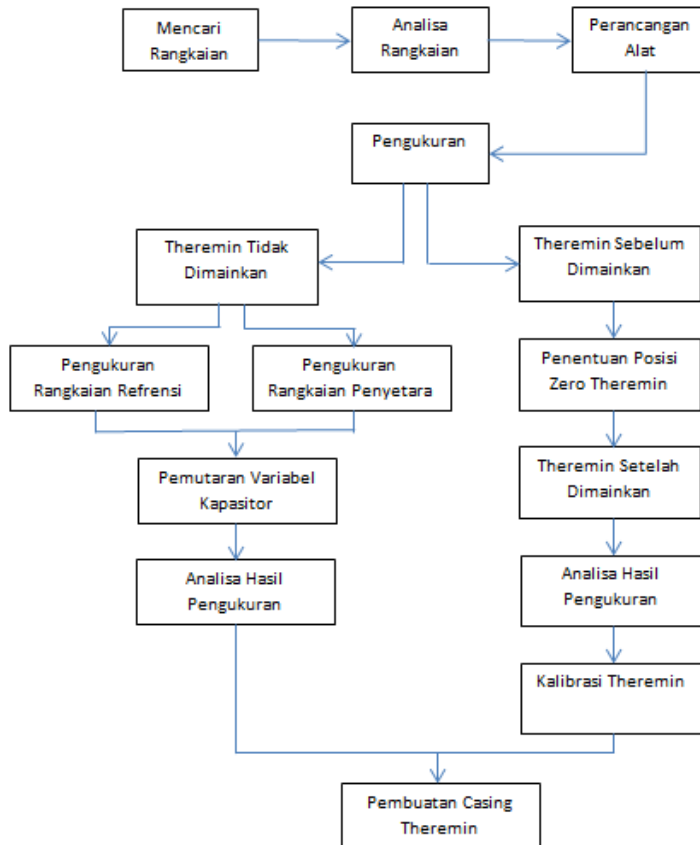
3.1 Identifikasi Masalah

Pada pembuatan alat Theremin ini, permasalahan yang akan dibahas adalah analisa terhadap adanya perubahan frekuensi pada saat alat tersebut dimainkan yang nantinya frekuensi tersebut akan disesuaikan dengan jarak dari pemain terhadap antena dengan harapan hasil berupa suara tersebut dapat terdengar bersih dan jarak dari suara yang dikeluarkan dapat mencapai 1 oktaf. Permasalahan lainnya adalah pada saat alat Theremin sudah jadi, pengukuran dilakukan dengan dua metode yang berbeda agar dapat mengetahui alat Theremin bekerja dengan baik. Penggunaan kedua metode tersebut dilakukan agar dapat dilihat frekuensinya pada saat bernilai *zero* atau dapat diartikan alat tersebut pada saat belum dimainkan atau tidak mengeluarkan bunyi dan pada saat dimainkan atau saat dielektrik tersebut diganggu akan menghasilkan suara yang bagus. Setelah dilakukan pengukuran, identifikasi masalah selanjutnya adalah kalibrasi nada Theremin yang bertujuan agar Theremin bisa dipadukan dengan alat musik lain dengan mencari nada dasar dari Theremin tersebut.

3.2 Metodologi Penelitian

Objek eksperimen yang akan diuji adalah frekuensi dari Theremin tersebut dengan perancangan alat yang mengacu pada www.thereminworld.com yang akan dilakukan analisa dan modifikasi pada rangkaian tersebut. Pada perancangan alat ini digunakan beberapa komponen seperti resistor, kapasitor, induktor, transistor dengan nilai yang berbeda-beda dan juga komponen inti berupa induktor, kapasitor NPO dan variabel kapasitor. Setelah perancangan alat tersebut, rangkaian nantinya akan dianalisa per bagian dimana pada acuan rangkaian tersebut terdapat 3 bagian yang

tersusun yang secara garis besar dijelaskan sebagai rangkaian referensi, rangkaian penyetara dan amplifier.



Gambar 3.1 Blok diagram perancangan dan pengukuran Theremin

Pada pengujian alat Theremin ini akan dilakukan dengan dua metode yang berbeda yaitu yang pertama adalah pengukuran pada saat alat belum dimainkan yang dimana pengaturan Theremin ini digunakan variabel kapasitor variabel untuk melihat jarak dari frekuensi yang dihasilkan dengan cara pengukuran pada tiap rangkaian yaitu rangkaian referensi dan rangkaian penyesuaian tersebut.

Pada metode kedua adalah pengukuran Theremin pada saat alat tersebut dimainkan, pada pengukuran ini Theremin berada pada kondisi *zero* yang artinya tidak menghasilkan suara. Pada pengukuran Theremin saat dimainkan ini akan dilakukan ketinggian antena dan variasi pemantul yang berbeda-beda. Pada metode kedua ini frekuensi yang dihasilkan akan diukur dengan menggunakan aplikasi *spectrum analyzer* untuk melihat frekuensi yang dihasilkan yang akan disesuaikan dengan jarak tangan pemain. Tujuan dari pengukuran menggunakan dua metode tersebut adalah kita dapat melihat frekuensi manakah dari rangkaian tersebut akan bekerja, memudahkan untuk mendapatkan frekuensi bernilai *zero* yang artinya frekuensi dari rangkaian referensi dan rangkaian penyesuaian tersebut bernilai sama dan juga melihat perubahan hasil output pada saat Theremin dimainkan. Pengukuran ini juga dilakukan pada output dari Theremin yang nantinya akan terlihat hasil perubahannya pada saat Theremin dimainkan dengan menggunakan osiloskop. Setelah dilakukan pengukuran, untuk proses kalibrasi dari Theremin ini akan digunakan perangkat berupa *pitch pipe* dan *chromatic tuner* untuk melihat hasil nada dasar dari Theremin.

3.3 Rangkaian, Peralatan dan Prosedur Perancangan

Pada perancangan alat Theremin ini akan digunakan rangkaian yang berasal dari www.thereminworld.com sebagai acuan dari rangkaian tersebut, rangkaian tersebut nantinya akan dilakukan analisa lebih lanjut agar mendapatkan hasil yang baik. Pengujian pengukuran alat dari kedua metode tersebut akan dilakukan di Laboratorium Antena dan Propagasi Elektro ITS menggunakan osiloskop untuk melihat frekuensi yang dihasilkan pada tiap bagian-bagian yang akan diukur yang nantinya hasil dari osiloskop tersebut akan dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan frekuensi resonansi. Adapun komponen yang akan digunakan pada rangkaian tersebut antara lain, adalah :

1. a. Resistor $100\text{K}\Omega$ (2 buah)
b. Resistor $5\text{K}6\Omega$ (1 buah)
c. Resistor 220Ω (2 buah)
d. Resistor $220\text{K}\Omega$ (1 buah)
2. Induktor $100\mu\text{H}$ (2 buah)
3. a. Kapasitor 10nF (2 buah)
b. Kapasitor 47pF (3 buah)

- c. Kapasitor 82pF (1 buah)
- d. Kapasitor 100nF (2 buah)
- e. Kapasitor 270pF (1 buah)
- f. Kapasitor 330pF (1 buah)
- 4. Transistor BC548 (3 buah)
- 5. Variabel Kapasitor 90pF – 700pF(1 buah)
- 6. Dioda Zener 3V3 (1 buah)
- 7. ELCO 470uF (2 buah)
- 8. Antena Telescope
- 9. Kabel jumper
- 10. PCB
- 11. Baterai
- 12. Speaker

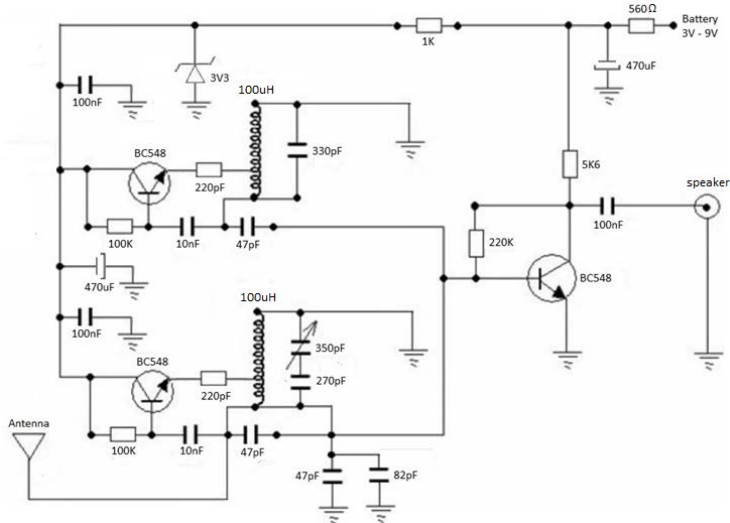
Prosedur perancangan dan pengujian ini terdiri dari beberapa tahapan seperti :

- 1. Mencari rangkaian Theremin dan analisa rangkaian
- 2. Perancangan alat Theremin
- 3. Pengukuran alat dengan dua metode
- 4. Kalibrasi Theremin
- 5. Pembuatan casing untuk alat Theremin

3.3.1 Rangkaian Theremin dan analisa rangkaian

Dalam mencari rangkain Theremin ini dilakukan pada internet dan ditemukan rangkaian tersebut pada www.thereminworld.com. Pemilihan rangkaian tersebut saya mencari berdasarkan tingkat kesulitan yang tidak terlalu tinggi dan juga pemakaian komponen yang mudah dicari agar tidak terfokuskan pada pembuatan dari rangkaian tersebut. Setelah mendapatkan rangkaian tersebut dilakukan analisa terhadap rangkaian. Pada rangkaian yang saya dapatkan dilakukan beberapa tambahan seperti dioda zener, ELCO, kapasitor dan resistor dengan fungsinya masing-masing. Penambahan rangkaian tersebut digunakan agar dalam proses penempatan variabel kapasitor lebih mudah untuk mencari nilai *zero* dan juga alat dapat bekerja secara maksimal serta mendapatkan parameter dengan nilai yang jelas, dan juga proses analisa dari rangkaian yang sudah dimodifikasi tersebut dilakukan karena terdapat komponen atau penggunaan *device* yaitu antena yang tidak diketahui spesifikasi frekuensi yang digunakan. Analisa rangkaian

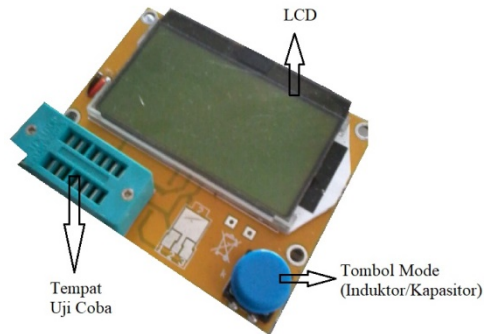
ini saya meminta bantuan ke beberapa teman saya yang berada di bidang elektronika dan juga beberapa orang yang ahli dalam analisa rangkaian. Berikut adalah rangkaian yang sudah dimodifikasi.



Gambar 3.2 Modifikasi rangkaian Theremin

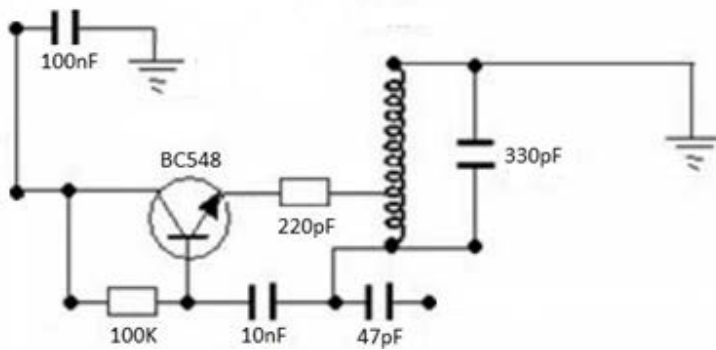
Pada rangkaian tersebut terdapat beberapa komponen yang penting dalam melakukan perhitungan frekuensi resonansi yaitu induktor, kapasitor jenis npo dan variabel kapasitor. Induktor yang digunakan menggunakan jenis air core induktor atau induktor lilitan dengan perhitungan menggunakan rumus dan beberapa parameter seperti diameter koil, panjang lilitan, jumlah lilitan dan juga diameter tempat untuk melilit koil tersebut agar mendapatkan nilai $100\mu\text{H}$ atau mendekati nilai tersebut. Komponen selanjutnya adalah kapasitor NPO, kapasitor NPO ini memiliki keunggulan yaitu tidak berpengaruh banyak terhadap suhu atau temperature udara, sehingga penggunaan komponen ini dapat terbilang cukup baik untuk perancangan Theremin yang berada pada frekuensi radio atau frekuensi tinggi dan juga lebih stabil dalam proses osilasi karena menggunakan bahan keramik. Komponen yang selanjutnya adalah variabel kapasitor, variabel kapasitor ini biasa digunakan untuk tuning radio fm. spesifikasi variabel kapasitor sangat dibutuhkan

dalam perancangan Theremin ini seperti jarak nilai dari variabel kapasitor dan frekuensi kerja pada variabel kapasitor tersebut. Pada rangkaian Theremin tersebut tertera nilai variabel kapasitor yaitu 500pF yang artinya penggunaan nilai variabel kapasitor ini harus mencapai nilai tersebut. Pada variabel kapasitor setelah dilakukan pengukuran dengan menggunakan LC meter dengan menaruh kedua kaki komponen pada tempat uji coba didapatkan nilai 90pF – 700pF yang artinya variabel kapasitor tersebut dapat bekerja pada rangkaian Theremin yang digunakan. Variabel kapasitor juga ini berpengaruh dalam perhitungan frekuensi yang digunakan, dimana variabel kapasitor ini memiliki beberapa jenis gelombang yaitu SW (Short Wave) dan MW (Medium Wave). Untuk short wave bekerja pada frekuensi 1.6MHz – 30MHz sedangkan medium wave bekerja pada frekuensi 560KHz – 1600KHz. Pada rangkaian Theremin tersebut variabel kapasitor yang dibutuhkan bekerja pada frekuensi 800KHz yang artinya pada frekuensi medium wave.



Gambar 3.3 LC meter

Analisa selanjutnya adalah cara kerja dari tiap rangkaian yaitu pengelompokkan rangkaian per bagian yang memiliki fungsinya masing-masing yaitu rangkaian referensi, rangkaian penyesuai dan juga amplifier tersebut, yang akan dianalisa pada setiap rangkaian tersebut adalah terkait jenis osilasi yaitu osilasi Hartley yang salah satunya digunakan untuk perhitungan frekuensi resonansi pada tiap bagian tersebut yang akan dijelaskan pada bab dan juga keterkaitan analisa prinsip heterodinamis dimana pencampuran diantara dua frekuensi yang dihasilkan.



Gambar 3.4 Rangkaian refrensi

Pada rangkaian pertama yaitu rangkaian refrensi ini memiliki jenis osilasi Hartley karena terdapat komponen yang tersambung oleh tapped dari koil induktor. Selanjutnya pada perhitungan frekuensi dilakukan dengan dua metode yaitu metode pertama adalah perhitungan langsung frekuensi resonansi dengan menggunakan nilai induktor dan kapasitor yang digunakan menggunakan rumus

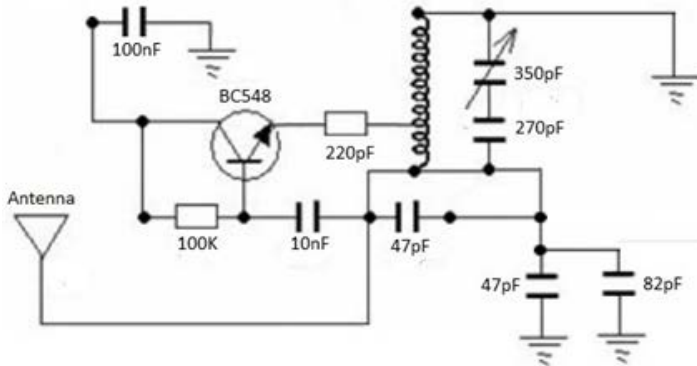
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Dimana, f_r = frekuensi resonansi

L = nilai induktor

C = nilai kapasitor

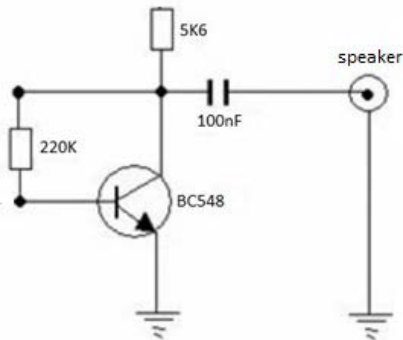
Setelah mendapatkan hasil perhitungan menggunakan rumus tersebut dilakukan pengukuran langsung menggunakan osiloskop dan hasil dari kedua metode tersebut akan dilihat dan dianalisa. Pada rangkaian refrensi ini, frekuensi yang dihasilkan yang bagus memiliki nilai yang tidak berubah-ubah, jika terjadi perubahan dapat dikarenakan adanya kinerja komponen yang berpengaruh terhadap suhu atau lingkungan



Gambar 3.5 Rangkaian penyetara

Pada rangkaian kedua yaitu rangkaian penyetara ini memiliki jenis osilasi yang sama dengan rangkaian pertama yaitu osilasi Hartley dan juga dalam perhitungan frekuensi dilakukan dengan metode yang sama dengan rangkaian referensi. Perbedaan rangkaian referensi dengan rangkaian penyetara disini adalah nilai dari kapasitor yang menggunakan variabel kapasitor. Variabel kapasitor pada rangkaian tersebut nantinya akan dilakukan pengubahan dengan memutar knop yang terdapat pada variabel kapasitor tersebut sampai posisi Theremin tidak terdapat suara, dapat diartikan juga dengan prinsip heterodinamis ini nilai dari frekuensi referensi (f_{ref}) dan frekuensi penyetara (f_x) memiliki nilai yang sama. Pada variabel kapasitor ini juga akan dilakukan pemutaran pada knop untuk pengukuran pada metode yang pertama yang nantinya pada saat Theremin tersebut tidak bernilai *zero*, alat tersebut masih bisa mengeluarkan suara karena adanya teori heterodinamis. Perbedaan rangkaian setelah dilakukan modifikasi pada rangkaian penyetara ini juga yaitu pada variabel kapasitor yang ditambahkan komponen berupa kapasitor bernilai tetap yang diseriikan yang bertujuan untuk membatasi frekuensi kerja pada rangkaian tersebut. Pada rangkaian tersebut bisa dilihat bahwa variabel kapasitor bernilai 500pF diseriikan dengan 270pF dan juga diparalelkan dengan 47pF dan 82pF, dimana tujuan dari penambahan komponen sebesar 270pF tersebut untuk membatasi batas tertinggi dari frekuensi kerja

tersebut dan komponen kapasitor 47pF dan 82pF tersebut untuk membatasi batas terendah dari frekuensi kerja pada rangkaian.



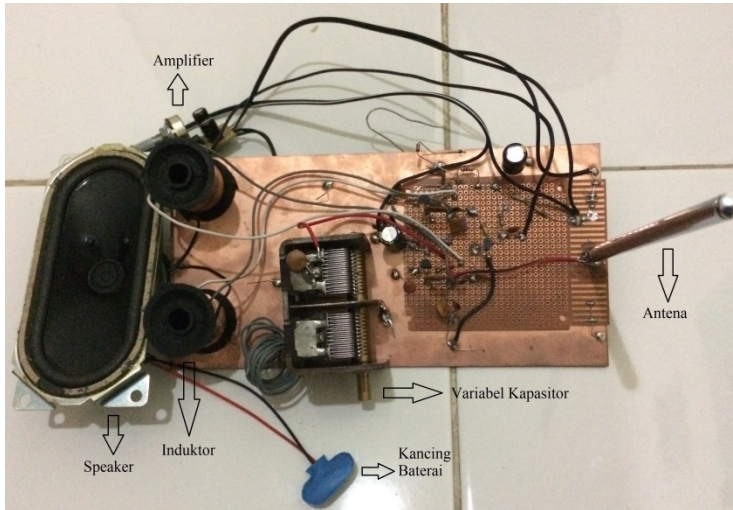
Gambar 3.6 Rangkaian amplifier

Selanjutnya adalah rangkaian ketiga yaitu amplifier, amplifier pada rangkaian ini hanya berfungsi sebagai penguat suara yang akan dihubungkan langsung pada output berupa speaker. Amplifier ini juga dapat dilakukan pemutaran pada knop untuk mengatur kekuatan suara yang akan dihasilkan.

3.3.2 Perancangan alat Theremin

Setelah melakukan pencarian dan analisa dari rangkaian tersebut selanjutnya adalah proses perancangan Theremin. Perancangan Theremin ini dilakukan pada rangkaian yang sudah dilakukan modifikasi. Pada perancangan yang sudah dimodifikasi ini karena adanya keterbatasan waktu pada rangkaian yang sudah dimodifikasi ini tidak dilakukan simulasi tetapi langsung dilakukan penyolderan langsung. Yang dilakukan pertama kali pada perancangan kedua ini adalah pembelian komponen yang akan digunakan, dalam pembelian komponen ini dilakukan secara langsung ke tempat penjual toko komponen elektronika dan juga pembelian secara online. Setelah sudah melakukan pembelian komponen dilakukan perancangan langsung dengan melakukan penyolderan komponen dengan menggunakan 2 jenis PCB yaitu PCB halus dan PCB holes. PCB halus disini berfungsi untuk menyatukan semua *ground* pada rangkaian pada tiap komponen

sedangkan PCB holes untuk penyolderan tiap komponen. Dan hasil dari penyolderanya adalah sebagai berikut.



Gambar 3.7 Hasil perancangan Theremin

Setelah dilakukan perancangan terhadap rangkaian tersebut nantinya hasilnya akan dianalisa dengan menggunakan osiloskop dan perhitungan dengan menggunakan rumus frekuensi resonansi.

Pada perancangan Theremin ini, pada proses penyolderan juga sebelumnya dianalisa terlebih dahulu karena jarak dari penyolderan dari setiap komponen karena saya akan melihat frekuensi dari hasil kerja Theremin tersebut. Tetapi setelah melihat beberapa refrensi Theremin ini bekerja pada frekuensi radio atau frekuensi tinggi, jadi proses jarak penyolderan dari setiap komponen tidak terlalu berpengaruh terhadap hasil frekuensi.

3.3.3 Pengukuran Alat Theremin

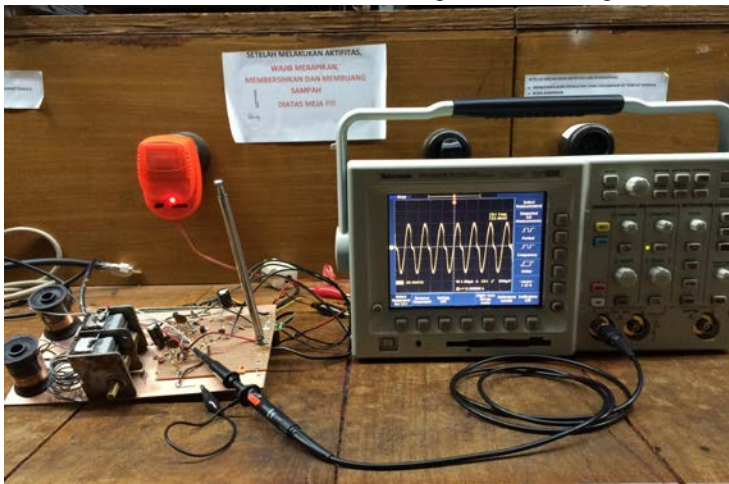
Setelah alat sudah terealisasi dilakukan pengukuran alat Theremin ini dengan pengukuran yang dilakukan dengan 2 metode yang berbeda, yaitu :

1. Pengukuran Theremin saat tidak dimainkan

2. Pengukuran Theremin saat sebelum dan sesudah dimainkan

Tujuan dari pengukuran kedua metode tersebut adalah yang pertama untuk mengetahui jarak frekuensi yang dihasilkan pada saat variabel kapastior berada pada posisi tertinggi dan terendah, yang kedua untuk melihat hasil dari pengukuran secara langsung pada saat Theremin dimainkan yang artinya dielektrik sudah diganggu menggunakan tangan pemain dan yang terakhir untuk mempermudah mendapatkan frekuensi *zero* yang artinya frekuensi pada tiap bagian rangkaian disesuaikan agar Theremin bekerja dengan baik dan juga pengukuran kedua metode ini dilakukan untuk melihat jarak frekuensi yang akan dihasilkan pada saat alat tidak dimainkan yaitu dilakukan pemutaran pada variabel kapasitor untuk melihat hasil dari frekuensi yang dihasilkan yang akan dibandingkan dengan frekuensi pada saat Theremin sudah mulai dimainkan. Pengukuran ini dilakukan menggunakan osiloskop yang berada di Laboratorium Antena dan Propagasi Elektro ITS.

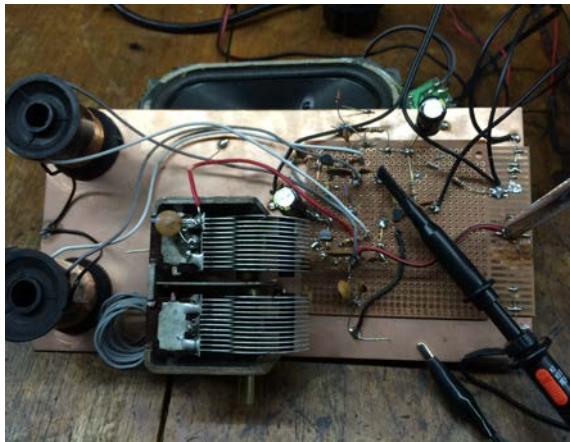
Pada pengukuran metode pertama yang dilakukan, rangkaian yang digunakan adalah rangkaian sudah dimodifikasi dengan tetapi Theremin tersebut belum dimainkan dengan skema sebagai berikut



Gambar 3.8 Pengukuran Theremin sebelum dimainkan

Pada gambar tersebut bahwa pengukuran dilakukan dengan menggunakan osiloskop Tektronix dengan spesifikasi frekuensi

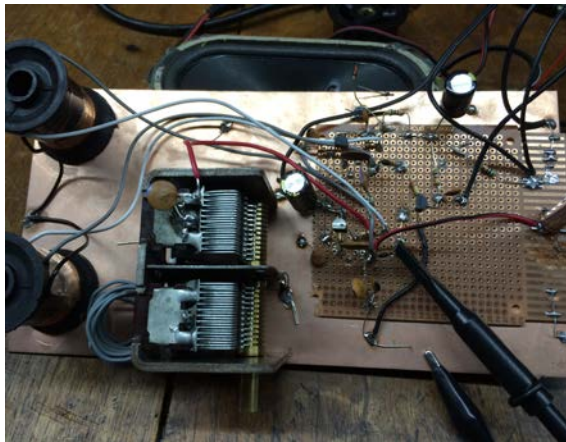
mencapai 500MHz, yang nantinya disesuaikan dengan frekuensi tertinggi yang akan dikeluarkan dari rangkaian tersebut. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa osiloskop dihubungkan langsung pada rangkaian yang telah dibuat, hasil yang dihasilkan dari osiloskop ini akan dibandingkan dengan hasil perhitungan langsung dengan menggunakan rumus frekuensi resonansi dan heterodinamis. Pada pengukuran ini nantinya akan dilakukan pada rangkaian refrensi dan juga rangkaian penyetara dengan menggunakan 1 probe osiloskop secara bergantian pada setiap rangkaian dengan cara melakukan pemutusan terhadap komponen kapasitor yang akan dijelaskan lebih rinci pada pembahasan selanjutnya yang tersambung antara rangkaian refrensi dengan penyetara agar kedua frekuensi yang dihasilkan tidak terjadi pencampuran dan mendapatkan hasil yang baik. Pengukuran metode pertama ini dilakukan pada Laboratorium Antena dan Propagasi Elektro ITS. Pengukuran pertama akan dilakukan pada rangkaian refrensi dengan skema sebagai berikut



Gambar 3.9 Pengukuran pada rangkaian refrensi

Pada pengukuran rangkaian refrensi ini dilakukan dengan cara pemutusan komponen kapasitor yang tersambung dengan jalur rangkaian refrensi dan juga amplifier, yaitu pada kapasitor bernilai 47pF pada rangkaian refrensi. Probe positif disambungkan pada kapasitor dan probe negatif disambungkan pada PCB halus sebagai

ground dari rangkaian. Pada proses pengukuran rangkaian refrensi ini posisi variabel kapasitor dapat diposisikan dimana saja karena tidak akan mempengaruhi frekuensi kerja yang akan dihasilkan pada osiloskop. Setelah dilakukan pengukuran menggunakan osiloskop akan dilanjutkan dengan perhitungan resonansi yang kedua dari hasil tersebut akan dibandingkan. Frekuensi resonansi yang dihasilkan dapat dilakukan perubahan dengan mengubah nilai dari induktor dan kapasitor, perubahan frekuensi pada rangkaian refrensi tersebut tidak perlu diikutsertakan juga perubahan pada rangkaian penyetara jika masih dalam jarak yang sesuai. Frekuensi resonansi yang dihasilkan disini juga dapat mempengaruhi jarak pada saat Theremin pada saat dimainkan dapat semakin dekat ataupun semakin jauh tergantung jarak nada yang ingin dikeluarkan. Pada komponen yang digunakan rangkaian tersebut, frekuensi resonansi yang dihasilkan sudah cukup untuk mencapai tangga nada berjarak 1 oktaf. Setelah pengukuran pada rangkaian refrensi, selanjutnya adalah pengukuran pada rangkaian penyetara.



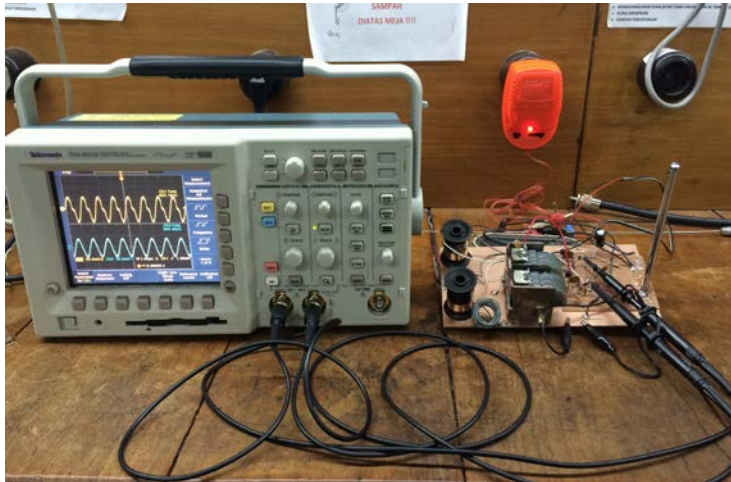
Gambar 3.10 Pengukuran pada rangkaian penyetara

Pada pengukuran rangkaian penyetara ini juga dilakukan pemutusan pada kapasitor bernilai 47pF. Begitu juga penempatan probe positif pada kapasitor dan negatif pada PCB halus sebagai *ground*. Perbedaan pengukuran rangkaian penyetara dengan rangkaian refrensi ini adalah variabel kapasitor yang akan

mempengaruhi frekuensi kerja yang dihasilkan. Pada rangkaian Theremin tersebut dapat dilihat bahwa variabel kapasitor diserikan dengan beberapa kapasitor lain yang berfungsi sebagai pembatas frekuensi, penambahan komponen kapasitor tersebut disesuaikan dengan keluaran dari frekuensi dari rangkaian referensi dengan cara pemutaran variabel kapasitor diposisi *minimum* dan *maximum*. Penambahan komponen ini juga dilakukan agar jarak frekuensi yang dihasilkan tidak terlalu besar tetapi masih dalam jarak frekuensi yang dihasilkan pada rangkaian referensi, sehingga pada saat mencari posisi *zero* tidak begitu sulit untuk dicari. Pada proses pengukuran kedua yaitu pengukuran Theremin pada saat tidak dimainkan artinya rangkaian tersebut tidak menggunakan *device* antena dan tangan dari pemain, kendali dari pengukuran kedua ini adalah pemutaran variabel kapasitor. Dalam kondisi alat menyala, akan dilakukan pemutaran variabel kapasitor sehingga terdengar bunyi yang dihasilkan oleh speaker. Pada pengukuran ini tidak dilakukan pencarian dalam posisi *zero* tetapi keluaran suara yang dihasilkan dari pemutaran variabel kapasitor tersebut. Frekuensi yang dihasilkan ini akan disesuaikan dengan prinsip heterodinamis dimana prinsip ini menjelaskan pengurangan nilai frekuensi antara frekuensi referensi dengan frekuensi penyetara sehingga menghasilkan bunyi yang dapat didengar oleh telinga manusia. Setelah pengukuran pada rangkaian penyetara dilanjutkan dengan pemindahan probe pada output dari rangkaian tersebut, fungsi dari pengukuran pada output ini nantinya akan terlihat frekuensi mana yang lebih mendominasi antara frekuensi yang dihasilkan dari rangkaian referensi dengan rangkaian penyetara. Setelah dilakukan pengukuran kedua menggunakan osiloskop ini akan dibandingkan dengan perhitungan langsung menggunakan rumus frekuensi resonansi dan juga heterodinamis. Dan hasil dari jarak nada yang dihasilkan saat Theremin dikendalikan dengan variabel kapasitor ini akan dibandingkan jarak nada yang dihasilkan pada saat Theremin dimainkan.

Selanjutnya adalah pengukuran metode kedua yaitu pengukuran pada saat Theremin dimainkan dimana pada proses ini Theremin dipasangkan *device* antena dan dilakukan permainan dengan menggunakan tangan pemain. Langkah pertama untuk yang dilakukan untuk pengukuran Theremin pada saat dimainkan ini

adalah mencari nilai *zero* dengan pemutaran variabel kapasitor dengan menggunakan osiloskop, agar Theremin bisa dimainkan dimana saja setelah proses pencarian posisi *zero*, pemutar variabel kapasitor akan diberi knop yang terdapat garis untuk menandakan posisi *zero* dari Theremin tersebut.



Gambar 3.11 Pengukuran Theremin saat dimainkan

Pada skema metode kedua ini dalam mencari nilai *zero* digunakan 2 probe, dimana probe tersebut disambungkan pada rangkaian sama dengan metode pertama yaitu probe 1 disambungkan pada rangkaian referensi posisi positif di komponen kapasitor 47pF yang sudah dicabut dan negatif disambungkan pada *ground*, begitu juga probe 2 yang disambungkan pada rangkaian penyetara posisi negatif di komponen kapasitor 47pF yang sudah dicabut dan negatif disambungkan pada *ground*. Setelah disambungkan kedua probe tersebut dilakukan pemutaran variabel kapasitor sehingga mendapatkan posisi *zero*. Dapat dilihat pada osiloskop apakah Theremin tersebut sudah dalam posisi *zero* yaitu dengan menyamakan dua frekuensi yang dihasilkan dari rangkaian referensi dengan rangkaian penyetara. Setelah Theremin sudah berada pada kondisi *zero*, agar alat ini bisa dimainkan dimana saja, saya menggunakan knop untuk memutar variabel kapasitor tersebut

yang memiliki tanda strip untuk menandai posisi *zero* pada variabel kapasitor tersebut. Setelah itu dilanjutkan dengan memainkan Theremin tersebut

3.3.4 Kalibrasi Theremin

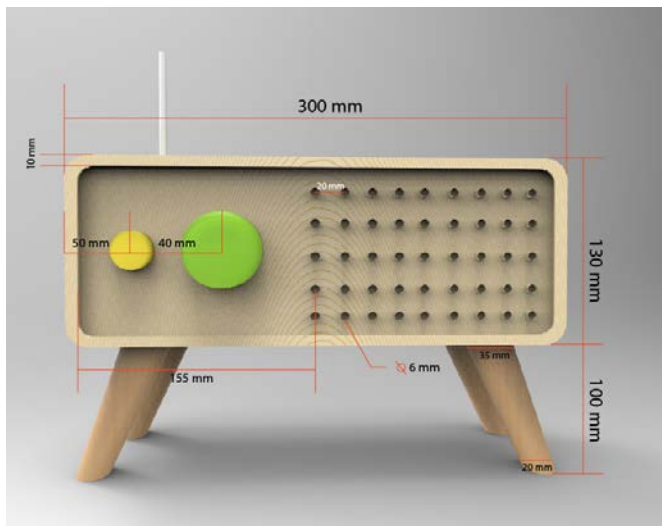
Setelah dilakukan pengukuran yang disesuaikan terhadap ketinggian antena yaitu pada 10cm, 18cm dan 24cm, hasil frekuensi terbaik pada Theremin yang dihasilkan akan dilanjutkan dengan proses penentuan kalibrasi nada dasar dari Theremin. Tujuan dari penentuan kalibrasi nada dasar ini adalah agar Theremin dapat dimainkan atau dikolaborasikan dengan alat musik lain, maka dari itu perlu untuk dilakukan penyesuaian nada dasar Theremin. Hasil dari kalibrasi ini juga akan dibuktikan dengan memadukan Theremin dengan alat musik lain yaitu gitar. Dalam penentuan nada dasar ini, dilakukan dengan cara mencari hasil terbaik yang disesuaikan dengan ketinggian antena pada pengukuran sebelumnya terkait frekuensi yang dihasilkan dari Theremin yang disesuaikan antara jarak pemain dengan antena dengan menggunakan aplikasi *spectrum analyzer*, *pitch pipe* dan juga *chromatic tuner*. Dalam mencari referensi nada dasar ini dilakukan dengan menggunakan referensi nada dasar dan oktaf untuk mencari frekuensi nada dasar pada setiap kunci, hasil dari frekuensi Theremin ini akan disesuaikan dengan melakukan beberapa perhitungan sampai frekuensi nada Theremin sesuai dengan frekuensi dari nada dasar pada tabel 2.1

Proses perhitungan frekuensi dan kalibrasi ini menggunakan beberapa perangkat yang sudah disebutkan sebelumnya yaitu aplikasi *spectrum analyzer*, *pitch pipe* dan juga *chromatic tuner*. Pembelian *pitch pipe* dan juga *chromatic tuner* ini dilakukan secara online. Pada penggunaan aplikasi *spectrum analyzer* ini memiliki kerja seperti *equalizer* yaitu penangkapan frekuensi suara yang dihasilkan dari Theremin, proses kalibrasi dengan menggunakan aplikasi *spectrum analyzer* ini dilakukan dengan cara memainkan alat Theremin tersebut dengan aplikasi dalam kondisi menyala, nantinya hasil frekuensi tersebut akan terlihat dan dibandingkan dengan tabel nada dasar, pada proses kalibrasi ini dilakukan terhadap jangkauan jarak nada yang dihasilkan dari Theremin. Untuk penggunaan *pitch pipe* dan juga *chromatic tuner* ini

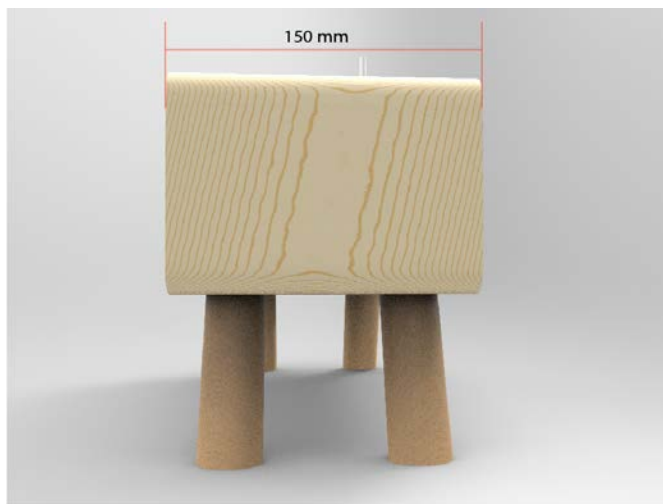
Dan juga penggunaan *chromatic tuner*, *chromatic tuner* ini digunakan bersamaan dengan *pitch pipe*, *chromatic tuner* ini berfungsi untuk memastikan dari kalibrasi Theremin dengan cara pada saat Theremin dimainkan, *chromatic tuner* ini akan mengeluarkan note yang dihasilkan dari nada yang dihasilkan dari Theremin tersebut.

3.3.5 Pembuatan casing untuk alat Theremin

Setelah melakukan perancangan alat Theremin dan dilakukan pengukuran, selanjutnya adalah pembuatan casing untuk theremin. Tujuan dari pembuatan casing ini adalah agar Theremin lebih layak dikategorikan sebagai alat musik dan juga untuk menarik perhatian pemusik untuk memainkan Theremin. Langkah pertama dalam pembuatan casing Theremin ini adalah mengukur panjang, lebar dan tinggi dari alat yang digunakan, Setelah dilakukan pengukuran pada perangkat Theremin dilanjutkan dengan design untuk casing terkait ukuran dan bahan yang akan digunakan. Berikut adalah design casing yang akan sudah disesuaikan dengan ukuran dari alat Theremin.



Gambar 3.14 Design Tampak Depan



Gambar 3.15 Design Tampak Samping

Design tersebut sudah diukur sesuai dengan alat yang sudah dibuat. Adapun ukuran dari Theremin dilakukan secara manual menggunakan penggaris dan ukuran casing tersebut dilebihkan beberapa cm dengan perangkat agar masih terdapat jarak jika terjadi beberapa perubahan terhadap komponen Theremin tersebut, berikut adalah hasil pengukuran casing dari alat Theremin yang sudah direalisasikan

- a. Panjang : 20cm
- b. Lebar : 10cm
- c. Tinggi : 15cm

Setelah membuat design selanjutnya pembuatan langsung casing untuk Theremin, pada pembuatan casing disini saya menggunakan jasa dari tukang kayu yang berada di daerah Mulyosari, Surabaya serta mendiskusikan kepada para pengrajin kayu tersebut terkait penggunaan kayu yang akan dipakai agar menghasilkan suara atau design yang cocok untuk Theremin. Setelah dilakukan diskusi, kayu yang digunakan adalah kayu jati. Berikut adalah casing yang sudah dibuat.



Gambar 3.16 Casing tampak depan



Gambar 3.17 Casing tampak belakang

3.3.6 Skenario Pengukuran Theremin

Berikut adalah langkah-langkah Theremin pada saat tidak dimainkan yang artinya Theremin diatur menggunakan variabel kapasitor, yaitu :

1. Antena menggunakan ketinggian 30 cm
2. Posisikan variabel kapasitor pada keadaan *maximum* (700pF)
3. Sambungkan probe osiloskop pada rangkaian penyetara
4. Turunkan variabel kapasitor secara perlahan hingga menghasilkan suatu keluaran pada sepaker dan juga keluaran sinyal pada osiloskop
5. Lakukan hal yang sama pada poin 4 sampai menghasilkan nada yang berbeda pada speaker
6. Catat hasil keluaran pada osiloskop dan lakukan perhitungan frekuensi dengan menggunakan rumus heterodinamis

Setelah dilakukan pengukuran terhadap Theremin saat tidak dimainkan, selanjutnya adalah langkah-langkah pengukuran Theremin saat dimainkan, yaitu :

1. Antena menggunakan ketinggian 30 cm
2. Posisikan ketinggian tangan pemain 10 cm diatas casing Theremin
3. Atur posisi tangan sejauh mungkin dari antena
4. Geser perlahan mendekati antena sampai menghasilkan suatu bunyi pada speaker
5. Catat jarak tangan terhadap antena pada saat Theremin menghasilkan suatu perubahan nada
6. Catat frekuensi yang tertera pada *audio spectrum analyzer*
7. Ulangi langkah 6 dan 7 dengan ketinggian tangan pemain 18 cm dan 24 cm diatas casing Theremin

Setelah dilakuka pengukuran terhadap Theremin saat dimainkan, selanjutnya adalah memvariasikan jenis pemantul pada Theremin yang pada dasarnya menggunakan tangan pemain dirubah menggunakan buku setebal 2,5cm dan penggaris besi. Dengan melakukan langkah-langkah yang sama pada saat Theremin dimainkan, pada saat menggunakan penggaris hasilnya sama dengan

menggunakan tangan pemain dan pada saat menggunakan buku tebal hasilnya tidak ada perubahan nada sama sekali yang diakibatkan karena penggaris besi ini dapat dialiri suatu muatan listrik statis sedangkan buku tidak.

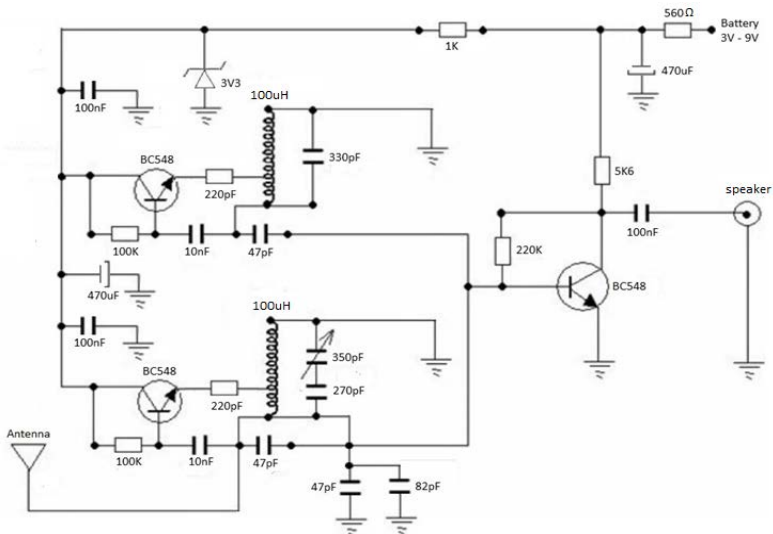
BAB IV

ANALISA DATA DAN PENGUKURAN

Data yang sudah didapatkan dari hasil analisa, perancangan, dan pengukuran frekuensi pada rangkaian, dikumpulkan dan disajikan dalam gambar dan grafik yang kemudian dianalisa untuk mengetahui fungsi kerja dari penambahan komponen pada alat Theremin, frekuensi kerja yang dihasilkan pada setiap rangkaian dan output, dan juga analisa nada yang dikeluarkan yang ditentukan dari jarak antenna dengan tangan pemain pada saat alat dimainkan.

4.1 Analisa Rangkaian Theremin

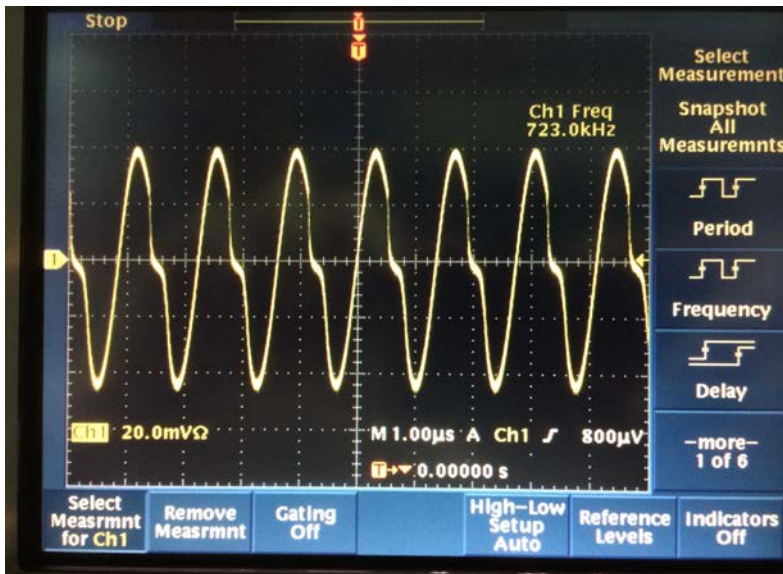
Modifikasi Rangkaian pada alat Theremin ini dilakukan dengan penambahan beberapa komponen yang dimasukkan ke rancangan, analisa ini dilakukan sebelum proses perancangan Theremin yang bertujuan untuk proses perhitungan frekuensi resonansi, mempermudah penempatan rangkaian pada posisi *zero* agar memiliki hasil yang baik pada saat proses pengukuran jarak antenna dengan pemain pada saat Theremin dimainkan.



Gambar 4.1 Modifikasi rangkaian Theremin

Analisa pertama yang dilakukan adalah terkait jenis osilator. Jenis osilator disini menggunakan jenis Hartley Osilator dimana terdapat komponen yang dihubungkan dengan pusat dari tapped induktor. Fungsi dari osilator Hartley ini yaitu untuk menghitung frekuensi resonansi dari osilasi tersebut yang dihasilkan dari nilai induktor dan kapasitor. Rangkaian refrensi dan rangkaian penyetara memiliki jenis osilasi yang sama hanya terdapat perbedaan pada nilai dari komponen yang digunakan yang akan dilakukan analisa lebih lanjut. Dan juga pada rangkaian tersebut terdapat prinsip heterodinamis, dimana terdapat dua frekuensi yang dihasilkan dari dua rangkaian yaitu rangkaian refrensi dan rangkaian penyetara, output kedua frekuensi itu berada setelah komponen 47pF yang terhubung ke mixer. Hasil dari kedua frekuensi tersebut akan saling mengurangi sehingga pada saat kondisi Theremin dimainkan frekuensi yang dihasilkan dari kedua rangkaian tersebut bernilai sama atau 0. Sedangkan pada saat Theremin tidak dimainkan atau diatur dengan menggunakan variabel kapastior, frekuensi yang dihasilkan dari kedua rangkaian tersebut setelah dilakukan pengurangan masih terdapat bunyi yang dihasilkan yaitu lebih kecil dari 20KHz sehingga dapat didenger oleh telinga manusia.

Setelah dilakukan analisa rangkaian tersebut, selanjutnya dilakukan analisa spesifik terkait komponen yang digunakan dalam perhitungan frekuensi resonansi. Yang akan dianalisa pertama pada komponen ini adalah komponen kapasitor variabel pada rangkaian penyetara yang diserikan dengan kapasitor 270pF dan juga diparalelkan dengan 47pF dan 82pF. Fungsi dari penambahan kapasitor tersebut adalah untuk mempermudah pencarian posisi *zero* pada alat Theremin yang artinya alat tersebut belum mengeluarkan suara dan juga fungsi dari penambahan kapasitor tersebut adalah membatasi frekuensi resonansi kerja dari rangkaian penyetara tersebut yang akan dilakukan pemutaran pada komponen variabel kapasitor. Karena nilai dari kapasitor variabel tersebut berada pada jarak 90pF – 700pF saya akan menganalisa frekuensi pada saat variabel kapasitor berada pada posisi minimum dan maksimum. Anlisa yang akan dijelaskan juga nantinya terkait suara yang dapat berubah pada saat Theremin tidak dimainkan yaitu dengan pengaturan variabel kapasitor dan juga Theremin sebelum dan sesudah dimainkan yang akan dijelaskan mengapa frekuensi tersebut dapat berubah-ubah tanpa melakukan kontak langsung terhadap alat dan penyeuaian tangan pemain dengan antenna.



Gambar 4.2 Frekuensi minimum rangkaian penyetara

Jika dilakukan dengan menggunakan rumus frekuensi resonansi hasilnya adalah sebagai berikut.

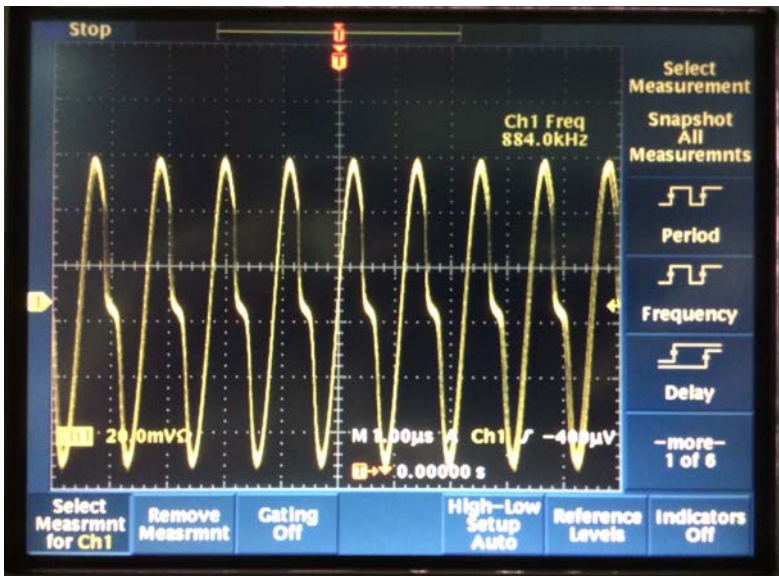
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{100 \times 10^{-6} \times 90 \times 10^{-12}}}$$

$$f_r = 1677,640 \text{ KHz}$$

Pada gambar tersebut dapat dilihat frekuensi yang dihasilkan dari batas minimum kapasitor variabel pada rangkaian penyetara adalah sebesar 723KHz. Untuk penempatan pada posisi ini adalah posisi dimana kapasitor yang bekerja adalah kapasitor 82pF dan 47pF. Perbedaan proses perhitungan dengan hasil osiloskop terdapat perbedaan dikarenakan pada proses perhitungan terdapat beberapa teori yang tidak dialami terkait penambahan kompoen terhadap proses

perhitungan frekuensi resonansi, walaupun pada rangkaian tersebut penambahan kapasitor tersebut diserikan tetapi nilai dari perhitungan frekuensi resonansi tersebut tidak bisa langsung ditambahkan. Jadi hasil yang dilakukan proses perhitungan adalah hasil dari osiloskop. komponen tambahan kapasitor Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa sinyal yang dikeluarkan adalah sinyal sinuosoidal, tetapi sinyal sinusoidal tersebut tidak sempurna atau mendekati sempurna dikarenakan adanya noise yang masih terbilang sangat kecil. Pengukuran tersebut dilakukan di Laboratorium Antena dan Propagasi besar kemungkinan noise tersebut juga disebabkan karena alat-alat yang berada pada laboratorium tersebut. Selanjutnya pengukuran variabel kapasitor pada posisi maksimum.



Gambar 4.3 Frekuensi maksimum rangkaian penyetara

Jika dilakukan dengan menggunakan rumus frekuensi resonansi hasilnya adalah sebagai berikut.

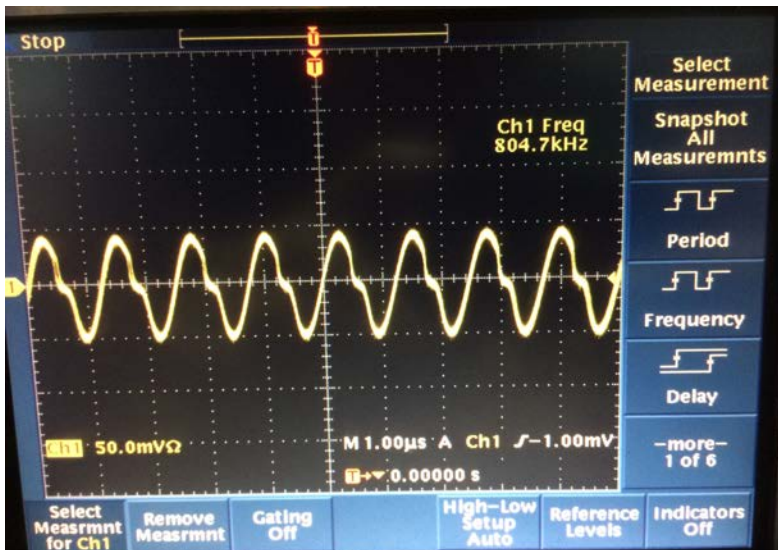
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{100 \times 10^{-6} \times 700 \times 10^{-12}}}$$

$$f_r = 601,549 \text{ KHz}$$

Pada gambar tersebut dapat dilihat frekuensi yang dihasilkan dari batas maksimum kapasitor variabel pada rangkaian penyetara adalah sebesar 884KHz. Dari gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa bandwidth frekuensi menjadi menyempit karena nilai frekuensi lebih besar. Untuk penempatan pada posisi ini adalah posisi dimana kapasitor yang bekerja adalah kapasitor 270pF. Perbandingan proses perhitungan dengan hasil osiloskop terdapat perbedaan dikarenakan pada proses perhitungan terdapat beberapa teori yang tidak didalami terkait penambahan kompoen terhadap proses perhitungan frekuensi resonansi, walaupun pada rangkaian tersebut penambahan kapasitor tersebut diserikan tetapi nilai dari perhitungan frekuensi resonansi tersebut tidak bisa langsung ditambahkan. Jadi hasil yang dilakukan proses perhitungan adalah hasil dari osiloskop. Pada gambar tersebut sinyal yang dikeluarkan adalah sinyal sinuosoidal, tetapi sinyal sinusoidal tersebut tidak sempurna dikarenakan adanya noise yang masih terbilang sangat kecil, dan juga karena komponen yang digunakan. Pengukuran tersebut dilakukan di Laboratorium Antena dan Propagasi besar kemungkinan noise tersebut juga disebabkan karena alat-alat yang berada pada laboratorium tersebut. Dapat disimpulkan pada rangkaian penyesuai ini memiliki range frekuensi minimum dan maksimum pada 723KHz – 884KHz.

Setelah didapatkan range frekuensi dari rangkaian penyetara, selanjutnya analisa pengukuran pada rangkaian refrensi yaitu rangkaian yang memiliki nilai komponen yang tetap yaitu 330μH. Pada rangkaian penyesuai ini nilai dari induktor dan kapasitor sudah memiliki nilainya masing-masing tanpa adanya dilakukan perubahan. Hasil dari rangkaian refrensi disini akan dilakukan beberapa pengukuran yaitu dengan menggunakan osiloskp dan juga menggunakan perhitungan langsung dengan frekuensi resonansi yang hasilnya akan dibandingkan. Dan juga frekuensi refrensi yang dihasilkan disini akan dilihat apakah hasilnya berada diantara frekuensi terendah dan tertinggi dari rangkaian penyetara agar Theremin dapat bekerja. Berikut adalah hasil pengukuran pada rangkaian refrensi.



Gambar 4.4 Frekuensi referensi

Jika dilakukan dengan menggunakan rumus frekuensi resonansi hasilnya adalah sebagai berikut.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{100 \times 10^{-6} \times 330 \times 10^{-12}}}$$

$$f_r = 876,119 \text{ KHz}$$

Pada gambar tersebut dapat dilihat frekuensi dari rangkaian penyetara berada pada frekuensi 804.7KHz yang artinya frekuensi yang dihasilkan dari rangkaian referensi tersebut dapat disesuaikan dengan frekuensi pada rangkaian penyetara yaitu pada 723KHz – 884KHz untuk penempatan posisi *zero* sedangkan pada proses perhitungan didapatkan hasil 876,119KHz. Perbedaan tersebut bisa disebabkan karena lilitan induktor yang tidak pas bernilai 100µH karena menggunakan induktor yang dililit sendiri. Sinyal yang dihasilkan pada rangkaian referensi ini

juga terdapat noise yang penyebabnya sama dengan rangkaian penyetara atau bisa juga kemungkinan noise frekuensi tersebut berasal dari pencampuran frekuensi rangkaian penyetara karena rangkaiananya saling terhubung.

4.2 Analisa Theremin Pada Saat Tidak Dimainkan

Analisa selanjutnya adalah analisa pada saat Theremin tidak dimainkan, artinya suara yang dihasilkan dari Theremin dilakukan pengaturan dengan menggunakan variabel kapasitor, pada pengaturan Theremin saat belum dimainkan ini perangkat tidak menggunakan *device* antena dan tangan pemain. Seperti yang kita tahu bahwa manusia dapat mendengar dari frekuensi 20Hz – 20KHz. Pada analisa ini dapat kita terapkan prinsip heterodinamis sehingga pada saat alat dikontrol dengan variabel kapasitor, alat tersebut dapat mengeluarkan suara dengan jarak tertentu. Pada analisa ini juga dapat dilihat frekuensi mana yang akan bekerja antara frekuensi yang dihasilkan dari rangkaian refrensi dengan frekuensi yang dihasilkan dari rangkaian penyetara. Langkah pertama dalam analisa ini adalah mengambil jarak frekuensi maksimum dan minimum yang dikurangi dengan nilai frekuensi refrensi dengan menggunakan rumus heterodinamis.

$$fr = f_{ref} - fx$$

Frekuensi pada saat posisi minimum

$$fr = 804.7KHz - 723KHz$$

$$fr = 81,7KHz$$

Frekuensi pada saat posisi maksimum

$$fr = 804.7KHz - 884KHz$$

$$fr = -79,3$$

Pada perhitungan tersebut dapat dilihat jarak frekuensi yang dihasilkan yaitu diantara -79,3KHz dan 81,7KHz. Dari hasil tersebut dilakukan beberapa analisa terkait frekuensi yang bernilai minus. Pada pengurangan hasil frekuensi yang bernilai minus tersebut ternyata

hasilnya dapat langsung diganti dengan nilai positif, disini dapat dijelaskan bahwa pada rangkaian tersebut terdapat dua frekuensi yang dihasilkan yaitu frekuensi yang dihasilkan dari rangkaian refrensi dan juga frekuensi yang dihasilkan dari rangkaian penyetara yang artinya saat perhitungan frekuensi resonansi yang dihasilkan pada saat hasilnya bernilai minus artinya frekuensi yang sedang bekerja atau frekuensi yang lebih mendominasi adalah frekuensi yang dihasilkan dari rangkaian penyetara sedangkan hasil frekuensi resonansi yang bernilai positif artinya frekuensi yang sedang bekerja atau frekuensi yang mendominasi adalah frekuensi yang dihasilkan dari rangkaian refrensi. Dapat disimpulkan disini jarak frekuensi setelah dilakukan perhitungan yaitu 81,7KHz untuk frekuensi kerja yang dihasilkan rangkaian refrensi dan 71,9KHz untuk frekuensi kerja yang dihasilkan dari rangkaian penyetara.

Setelah didapatkan jarak frekuensi resonansi yang dihasilkan dilanjutkan dengan analisa suara yang dihasilkan dengan dilakukan pemutaran variabel kapasitor. Dari analisa ini akan dilakukan pembatasan frekuensi yang dihasilkan agar dapat terdengar oleh telinga manusia, karena pada saat posisi minimum dan maksimum variabel kapasitor variabel berada pada jarak +/- 80KHz sehingga frekuensi tersebut tidak menghasilkan bunyi. Pada analisa ini yang dilakukan adalah pengurangan dan penambahan frekuensi refrensi yaitu 804,7KHz dengan frekuensi maksimum yang dapat didengar oleh telinga manusia yaitu 20KHz.

$$804,7KHz + 20KHz = 824,7KHz$$

$$804,7KHz - 20KHz = 784,7KHz$$

Pada frekuensi tersebut dapat dilihat jarak yang dihasilkan yaitu berada pada jarak frekuensi 824,7KHz sampai 784,7KHz pada saat Theremin tersebut belum dimainkan tetapi diatur menggunakan variabel kapasitor untuk menghasilkan suara. Jika dilakukan pemutaran sampai melebihi atau mengurangi frekuensi tersebut alat tersebut tidak akan mengeluarkan suara. Setelah didapatkan frekuensi tersebut selanjutnya adalah pemutaran variabel kapasitor sehingga mengeluarkan suara sampai menghasilkan beberapa nada yang akan disesuaikan dengan frekuensi yang dihasilkan. Pada analisa ini dilakukan pengukuran

menggunakan osiloskop untuk melihat frekuensi yang dihasilkan dan hasilnya akan dikurangi dengan frekuensi dari rangkaian referensi. Setelah dilakukan pengukuran sampai batas frekuensi tersebut, nada yang dihasilkan tidak mencapai 1 oktaf, perubahan tersebut hanya menghasilkan nada 5 sampai 6 tangga nada jika hitungan 1 oktaf adalah 8 tangga nada. Berikut adalah perhitungan dari frekuensi yang dihasilkan yang disesuaikan dengan perubahan nada, dan juga frekuensi manakah yang akan bekerja. Dengan menggunakan rumus heterodinamis.

Untuk proses perhitungan disini saya mengambil contoh 1 gambar untuk melakukan 1 perhitungan pada saat dilakukan pemutaran variabel kapasitor pada nada pertama, setelah itu pada frekuensi seterusnya gambar akan dimasukkan pada lampiran.



Gambar 4.5 Hasil osiloskop tangga nada pertama dibawah frekuensi referensi

Tangga nada pertama

$$fr = 804,7KHz - 801,9KHz$$

$$fr = 2,8 \text{ KHz}$$

Tangga nada kedua

$$fr = 804,7 \text{ KHz} - 797,5 \text{ KHz}$$

$$fr = 7,2 \text{ KHz}$$

Tangga nada ketiga

$$fr = 804,7 \text{ KHz} - 794,8 \text{ KHz}$$

$$fr = 9,9 \text{ KHz}$$

Tangga nada keempat

$$fr = 804,7 \text{ KHz} - 791,2 \text{ KHz}$$

$$fr = 13,5 \text{ KHz}$$

Tangga nada kelima

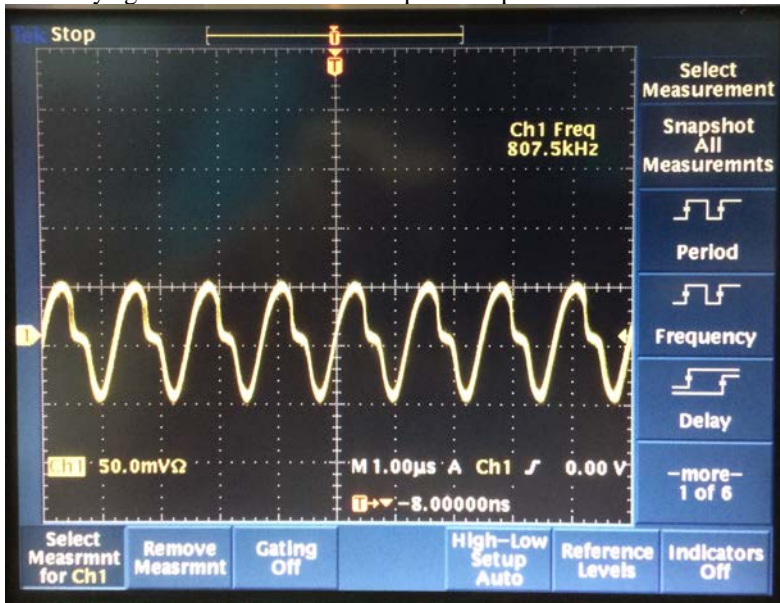
$$fr = 804,7 \text{ KHz} - 785,1 \text{ KHz}$$

$$fr = 19,6 \text{ KHz}$$

Pada hasil perhitungan tersebut dapat dilihat hasil frekuensi resonansi bernilai positif yang artinya frekuensi yang bekerja adalah frekuensi yang dihasilkan dari rangkaian refrensi. Nada yang dihasilkan dari rangkaian refrensi tersebut mencapai 5 tangga nada, dimana perubahan nada tersebut dianalisa dengan pendengaran pemain. Jika variabel kapasitor terus diputar ke posisi minimum, frekuensi yang dihasilkan akan semakin besar sehingga tidak terdengar suara lagi. Selanjutnya dilakukakn perhitungan variael kapasitor ke posisi maksimum dengan menggunakan rumus yang sama.

Untuk proses perhitungan disini saya mengambil contoh 1 gambar untuk melakukan 1 perhitungan pada saat dilakukan pemutaran

variabel kapasitor pada nada pertama, setelah itu pada frekuensi seterusnya gambar akan dimasukkan pada lampiran.



Gambar 4.6 Hasil osiloskop tangga nada pertama diatas frekuensi referensi

Tangga nada pertama

$$fr = 804,7KHz - 807,5KHz$$

$$fr = -2,8 KHz$$

Tangga nada kedua

$$fr = 804,7KHz - 809,6KHz$$

$$fr = -4,9 KHz$$

Tangga nada ketiga

$$fr = 804,7KHz - 813,5KHz$$

$$fr = -8,8 \text{ KHz}$$

Tangga nada keempat

$$fr = 804,7 \text{ KHz} - 816,1 \text{ KHz}$$

$$fr = -11,4 \text{ KHz}$$

Tangga nada kelima

$$fr = 804,7 \text{ KHz} - 820,9 \text{ KHz}$$

$$fr = -16,2 \text{ KHz}$$

Tangga nada keenam

$$fr = 804,7 \text{ KHz} - 824,5 \text{ KHz}$$

$$fr = -19,8 \text{ KHz}$$

Pada perhitungan tersebut dapat dilihat hasil frekuensi resonansi bernilai negatif artinya frekuensi yang bekerja adalah frekuensi yang dihasilkan dari rangkaian penyetara. Nada yang dihasilkan dari rangkaian refrensi tersebut mencapai 6 tangga nada, analisa juga dilakukan dengan pendengaran pemain. Jika variabel kapasitor terus diputar ke posisi maksimum, frekuensi yang dihasilkan akan semakin besar juga sehingga tidak terdengar suara lagi.

Pada perhitungan tersebut tangga nada yang dihasilkan dari posisi variabel kapasitor minimum dan maksimum tersebut terdapat perbedaan yaitu jumlah tangga nada yang dihasilkan, pada saat frekuensi refrensi yang bekerja menghasilkan 5 tangga nada sedangkan saat frekuensi penyetara menghasilkan 6 tangga nada, penyebab dari perbedaan tersebut adalah pada saat proses pemutaran variabel kapasitor yang sangat sensitif terhadap perubahan dan juga komponen variabel kapasitor yang terdiri dari sel-sel terdapat sel yang tersentuh dengan sel lain. Sehingga pada saat proses ini menghasilkan beberapa frekuensi yang hanya dapat didengar tersebut. Hasil dari proses ini yang hanya

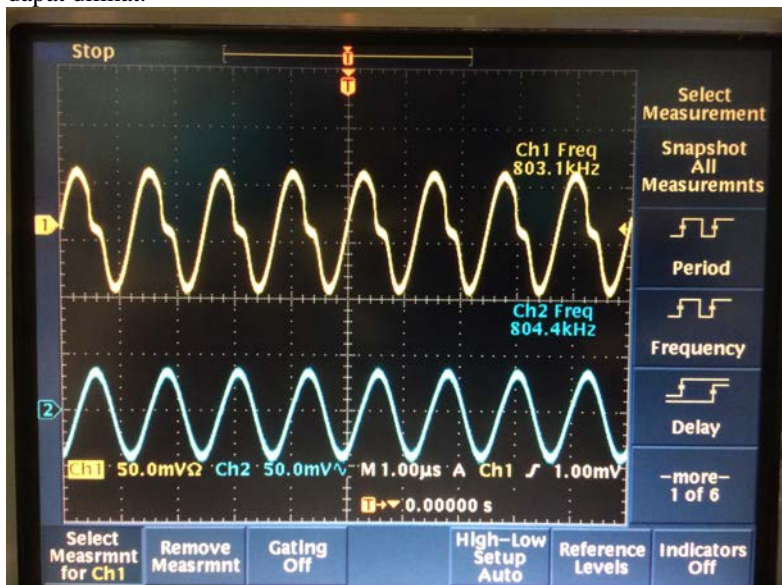
dianalisa adalah tangga nada yang dihasilkan yang akan dibandingkan dengan nada yang dihasilkan dengan pada saat Theremin dimainkan.

4.3 Analisa Theremin Pada Saat Sebelum dan Sesudah Dimainkan

Setelah dilakukan analisa ada alat Theremin pada saat tidak dimainkan atau dikontrol dengan menggunakan variabel kapasitor. Selanjutnya adalah analisa Theremin pada saat alat dimainkan artinya perangkat Theremin sudah dipasang *device* antenna dan tangan pemain.

4.3.1 Analisa Posisi *Zero* Theremin

Analisa pertama yang dilakukan adalah mencari nilai *zero* pada Theremin, pada saat mencari nilai *zero* ini variabel kapasitor pada rangkaian penyetara diputar sehingga mendapatkan nilai frekuensi yang sama dengan rangkaian referensi. Pada proses mencari nilai *zero* ini dilakukan dengan menggunakan osiloskop agar kedua frekuensi tersebut dapat dilihat.



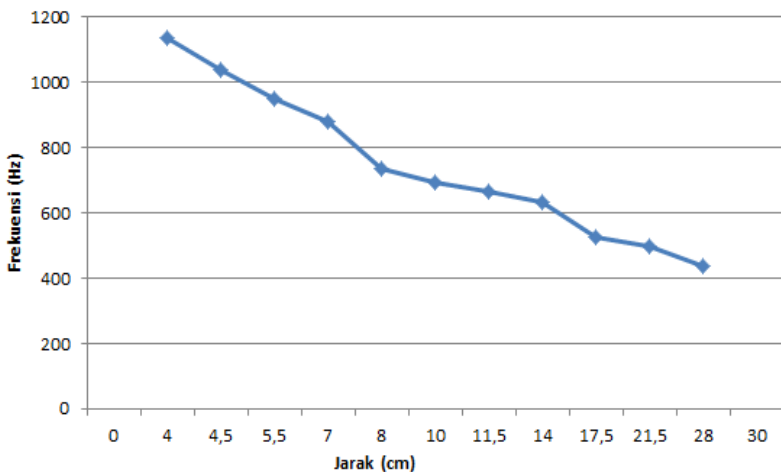
Gambar 4.7 Frekuensi *zero* Theremin

Pada hasil osiloskop tersebut dapat dilihat bahwa frekuensi yang dihasilkan dari rangkaian penyetara adalah 803,1KHz dan frekuensi pada rangkaian refrensi adalah 804,4KHz. Jika dilakukan dengan perhitungan dengan menggunakan rumus heterodinamis frekuensi yang dihasilkan adalah 1,6KHz, pada frekuensi tersebut dapat dikategorikan sebagai posisi *zero* karena perbedaan frekuensi yang tidak begitu jauh walaupun pada proses disini yang diinginkan frekuensi bernilai sama. Pada proses mencari nilai *zero* ini terdapat perbedaan frekuensi yang dihasilkan dengan hasil sebelumnya dimana pada hasil sebelumnya rangkaian refrensinya sebesar 804,7KHz dan pada gambar tersebut rangkaian refrensi digunakan pada port 2 yang hasil frekuensinya adalah 804,4KHz, dan juga hasil sinyal dihasilkan pada saat pengukuran terdapat perbedaan bentuk sinyal yang sebelumnya sinyal masih terdapat sedikit noise sehingga sinyal tidak berbentuk sinusoidal sempurna sedangkan pada gambar tersebut didapatkan bentuk sinyal sinusoidal sempurna. Hal ini dapat terjadi karena adanya sedikit noise dari peralatan yang berada di Laboratorium Antena dan Propagasi karena pengukuran tersebut dilakukan di Lab. Selanjutnya analisa pada rangkaian penyetara, pada saat melakukan pemutaran variabel kapasitor, untuk mendapatkan nilai frekuensi yang sama dengan yang dihasilkan oleh rangkaian refrensi masih terbilang sulit, karena saat proses pemutaran variabel kapasitor tersebut sangat sensitif yang artinya sedikit pemutaran variabel kapasitor saja lompatan frekuensinya dapat melampaui 2KHz sampai 5KHz sehingga masih menghasilkan bunyi, data tersebut dapat dilihat pada analisa Theremin sebelum dimainkan. Setelah melakukan beberapa kali pengukuran dari gambar tersebut adalah hasil yang paling baik pada saat pengkondisian nilai *zero*. Setelah didapatkan nilai *zero* tersebut, agar alat dapat dimainkan dimana saja, pada pemutar variabel kapasitor tersebut diberikan knop yang terdapat garis untuk menandakan posisi *zero* tersebut. Terdapat cara lain untuk mendapatkan nilai frekuensi yang sama yaitu diatur dengan menggunakan tangan pemain dengan jarak yang jauh dari antena, karena fungsi dari antena ini untuk mengubah kapasitansi dari kapasitor maka cara tersebut dapat dilakukan. Tetapi jarak tangan dengan antena tersebut harus jauh agar kapasitansi yang berubah hanya sedikit sehingga bisa mendapatkan frekuensi yang sama dan Theremin tidak mengeluarkan suara, pada saat mencari posisi *zero* ini juga akan dianalisa jaraknya.

4.3.2 Analisa Pengaruh Pengukuran Ketinggian Antena dan Pemantul pada Theremin

Setelah mendapatkan posisi *zero*, selanjutnya akan dilakukan pengukuran terkait frekuensi yang dihasilkan dari Theremin yang disesuaikan jaraknya antara antena dengan tangan pemain. Pada proses pengukuran ini akan dilakukan dengan variasi yang berbeda yaitu dengan menyesuaikan ketinggian antena pada saat terjadi perubahan frekuensi. Disini ketinggian antena yang digunakan adalah 10 cm, 18 cm, dan 24 cm. Terdapat alasan mengapa dilakukan pengukuran pada ketinggian antena tersebut dikarenakan pada ketinggian antena tersebut terjadi perubahan yang signifikan sampai satu tangga nada yang akan ditunjukkan dengan grafik dan tabel. Dan juga pengukuran selanjutnya yaitu akan dilakukan variasi dengan beberapa pemantul yang berbeda yang biasanya Theremin ini pemantul yang digunakan adalah tangan pemain, disini saya akan mencoba memvariasikan dengan menggunakan penggaris dan buku tebal, dan juga akan dilihat apakah dengan variasi tersebut berpengaruh dengan nada yang dihasilkan dari Theremin. Setelah dilakukan dengan beberapa pengukuran tersebut hasilnya akan dibandingkan dan juga akan dilihat manakah hasil terbaik dari Theremin tersebut.

a. Pengukuran pada ketinggian antena 10cm



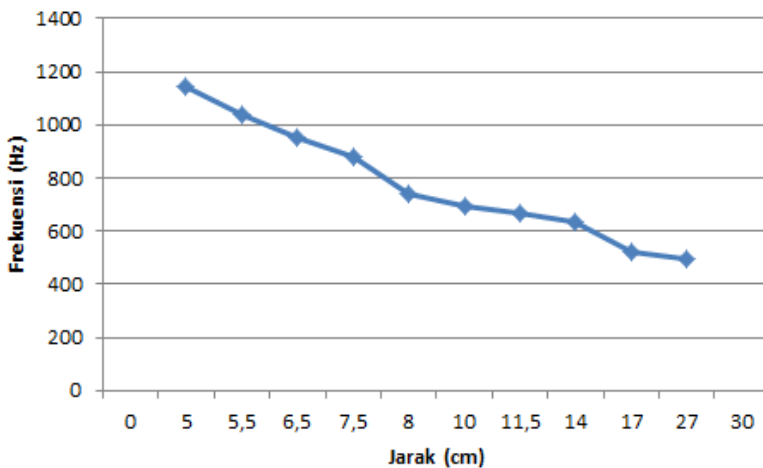
Gambar 4.8 Grafik hasil pengukuran pada ketinggian antena 10cm

Dari grafik pengukuran pada ketinggian antenna 10cm tersebut didapatkan hasil

Tabel 4.1 Tabel hasil pengukuran pada ketinggian antenna 10cm

No	Nada	Jarak (cm)	Frekuensi (Hz)
1	Do	28	438
2	Re	21,5	496
3	Mi	17,5	526
4	Fa	14	634
5	Sol	11,5	666
6	La	10	693
7	Si	8	737
8	Do'	7	881
9	Re'	5,5	951
10	Mi'	4,5	1039
11	Fa'	4	1137

b. Pengukuran pada ketinggian antenna 18cm



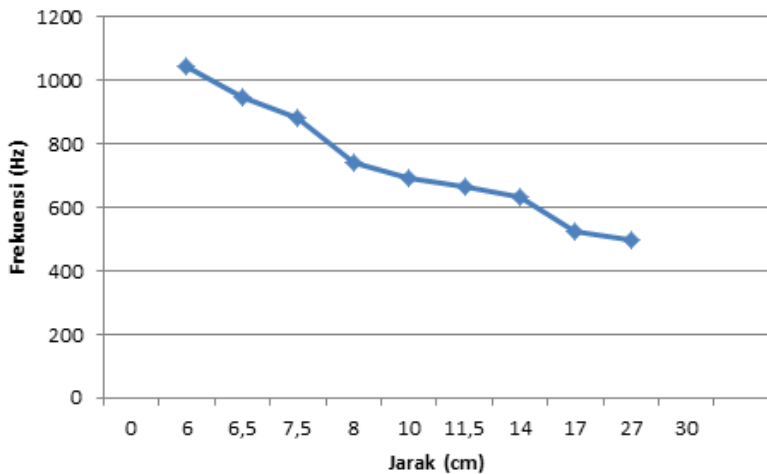
Gambar 4.9 Grafik hasil pengukuran pada ketinggian antenna 18cm

Dari grafik pengukuran pada ketinggian antenna 18cm tersebut didapatkan hasil.

Tabel 4.2 Tabel hasil pengukuran pada ketinggian antenna 18cm

No	Nada	Jarak (cm)	Frekuensi (Hz)
1	Re	27	496
2	Mi	17	524
3	Fa	14	634
4	Sol	11,5	667
5	La	10	692
6	Si	8	737
7	Do'	7,5	881
8	Re'	6,5	951
9	Mi'	5,5	1038
10	Fa'	5	1145

c. Pengukuran pada ketinggian antenna 24cm



Gambar 4.10 Grafik hasil pengukuran pada ketinggian antenna 24cm

Dari grafik pengukuran pada ketinggian antenna 24cm tersebut didapatkan hasil.

Tabel 4.3 Tabel hasil pengukuran pada ketinggian antenna 24cm

No	Nada	Jarak (cm)	Frekuensi (Hz)
1	Mi	27	498
2	Fa	17	526
3	Sol	14	634
4	La	11,5	666
5	Si	10	693
6	Do	8	740
7	Re'	7,5	881
8	Mi'	6,5	948
9	Fa'	6	1042

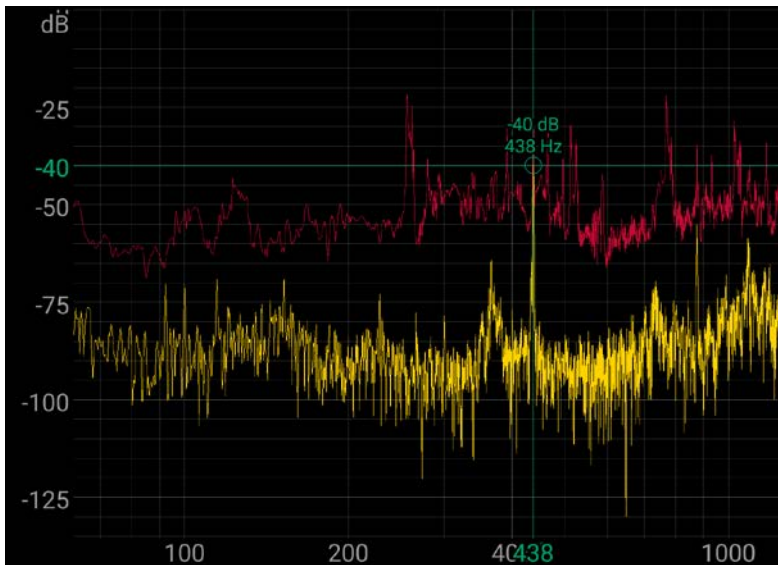
Pada pengukuran tersebut langkah pertama yang dilakukan adalah pengukuran frekuensi terhadap nada yang dihasilkan dari Theremin yang disesuaikan dengan jarak tangan dengan antenna. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan penggaris yang diletakkan posisi 0cm penggaris pada antenna. Didapatkan hasil jarak tangga nada yang disesuaikan dengan ketinggian antenna.

Tabel 4.4 Tabel hasil pengukuran terbaik pada perangkat Theremin

No	Nada	Jarak (cm)	Frekuensi (Hz)
1	Do	28	438
2	Re	21,5	496
3	Mi	17,5	526
4	Fa	14	634
5	Sol	11,5	666
6	La	10	693
7	Si	8	737
8	Do'	7	881
9	Re'	5,5	951
10	Mi'	4,5	1039
11	Fa'	4	1137

Dari hasil tersebut diambil menggunakan aplikasi *spectrum analyzer* seperti equalizer yang akan mendeteksi frekuensi yang dihasilkan dari Theremin mulai dari *do* hingga *fa*'. Dapat dilihat pada grafik tersebut dengan ketinggian permainan tangan pemain terhadap antena dapat menghasilkan frekuensi yang berbeda. Dan juga pada Theremin ini juga akan dilakukan variasi pengukuran pemantul tidak hanya menggunakan tangan pemain, tapi juga digunakan buku tebal dan penggaris. Pada pengukuran dengan menggunakan penggaris, hasil yang didapatkan sama dengan tabel grafik diatas sedangkan jika menggunakan buku tebal, frekuensi dari Theremin atau nada dari Theremin ini tidak berubah. Disini dapat dilihat bahwa penggaris dapat menghantarkan suatu aliran listrik sedangkan buku tidak dapat menghantarkan suatu aliran listrik.

Analisa Selanjutnya adalah terkait bunyi yang dihasilkan Theremin, pertama-tama jika dilihat dari gambar hasil osiloskop Theremin pada posisi *zero* terdapat dua frekuensi yang berbeda yaitu frekuensi referensi sebesar 804,7 KHz dan juga frekuensi penyetara sebesar 803,1 KHz. Jika dihitung menggunakan rumus heterodinamis dihasilkan frekuensi sebesar 1,6KHz, disini frekuensi tersebut dapat dikatakan frekuensi *zero* karena perbedaan frekuensi yang tidak begitu jauh walaupun yang diinginkan frekuensi bernilai sama tetapi pada proses mencari nilai *zero* ini terbilang sulit karena perputaran 1 derajat variabel kapasitor, frekuensi dapat turun atau naik hingga 3KHz – 4KHz. Setelah didapatkan posisi *zero* dilanjutkan dengan memainkan Theremin tersebut yang hasilnya terdapat pada grafik dan gambar sebelumnya. Disini analisa selanjutnya akan menjelaskan mengapa jika dilakukan permainan Theremin menghasilkan bunyi yang berbeda-beda. Semakin tangan mendekati antena frekuensi yang dihasilkan akan semakin tinggi, ini dikarenakan adanya sifat kapasitansi tubuh yang dimana kapasitansi tubuh ini memiliki sifat jika tubuh mendekati dengan cara bersandar pada suatu lempengan atau logam frekuensi yang dihasilkan akan semakin besar begitu juga sifat lainnya yaitu jika tubuh berada di atas suatu logam maka frekuensi yang dihasilkan akan semakin rendah. Begitu juga pada Theremin ini jika tangan pemain bersandar atau berada di samping antena, jika tangan mendekati antena akan menghasilkan frekuensi yang lebih tinggi atau nada yang lebih besar, begitu juga sebaliknya. Jika tangan menjauhi maka frekuensi yang dihasilkan akan lebih kecil.



Gambar 4.11 Hasil nada Do pada aplikasi Spectrum Analyzer

Keterangan Gambar :

1. Garis berwarna merah menunjukan frekuensi yang dihasilkan dari suara Theremin atau suara lain (manusia, perangkat elektronik, dll) yang ditangkap dengan frekuensi yang lebih besar.
2. Garis berwarna kuning dengan puncak tertinggi menandakan hasil dari suara yang dihasilkan dari Theremin

Dari ketiga tabel diatas, pengukuran yang dilakukan pada ketinggian antenna 10 cm, tetapi pada saat ketinggian antenna 18 cm tidak ditemukan nada do dengan jarak yang sama tapi ditemukan nada selanjutna, pada saat melakukan percobaan tersebut terdapat nada yang hilang ketika dimainkan pada ketinggian antenna 24 cm karena sifat dari kapasitansi tubuh yang akan menjadi kecil saat berada diatas suatu lempengan atau logam. Perbedaan frekuensi yang berubah. Dan juga dapat dilihat dari ketiga tabel tersebut, jika Theremin sudah mulai dimainkan jarak tangan yang menjauhi antenna akan menghasilkan frekuensi yang lebih kecil atau nada yang rendah begitu juga

sebaliknya, jika tangan semakin mendekati antena frekuensi yang dihasilkan akan semakin besar dan nada yang dikeluarkan akan semakin tinggi. Pada ketiga pengukuran itu juga dapat disimpulkan bahwa faktor adanya faktor ketinggian antena dan juga variasi pemantul dapat mempengaruhi kerja dari Theremin.

4.4 Kalibrasi Theremin

Pada proses kalibrasi Theremin ini bertujuan untuk mencari nada dasar dari Theremin agar bisa diapadukan dengan alat musik lain, referensi dari nada dasar menggunakan tabel 2.1. Dengan data pengukuran yang sudah dilakukan sebelumnya dan didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.5 Tabel hasil kalibrasi Theremin

No	Nada	Jarak (cm)	Frekuensi (Hz)	Note	Oktaf
1	Do	28	438	A	4
2	Re	21,5	496	B	4
3	Mi	17,5	526	C	5
4	Fa	14	634	D#	5
5	Sol	11,5	666	E	5
6	La	10	693	F	5
7	Si	8	737	F#	5
8	Do'	7	881	A'	5
9	Re'	5,5	951	A'#	5
10	Mi'	4,5	1039	C	6
11	Fa'	4	1137	C'#/D	6

Jarak nada yang dihasilkan oleh Theremin ini mencapai satu oktaf, dengan nada dasar tersebut. Analisa nada dasar tersebut terkait variasi yang dihasilkan dari nada dasar, kenaikan nada tidak selalu konstan naik 1 nada, melainkan terdapat beberapa kenaikan yang bisa mencapai kurang dari 1 atau melebihi 1 nada seperti pada nada Mi yang ditunjukkan dengan nada dasar C pada saat naik ke nada Fa mencapai 1,5 nada menjadi D# begitu juga saat dilanjutkan ke nada Sol kenaikan hanya mencapai 0,5 dengan nada dasar E. Hasil dari kalibrasi tersebut nilainya dicari dari hasil yang mendekati dengan tabel referensi, terkecuali pada nada terakhir yaitu Fa oktaf karena posisi frekuensi nada

tersebut berada di tengah-tengah dari kunci C’#/D. Tetapi dari hasil tersebut Theremin dapat dikatakan cukup baik karena nada yang dihasilkan dapat mencapai 1,5 oktaf. Pada proses kalibrasi ini dilakukan dengan menggunakan alat yang bernama *pitch pipe* dan *chromatic tuner* dimana untuk menyesuaikan nada yang dihasilkan dari Theremin tersebut dan disesuaikan dengan tabel referensi tersebut perlu dilakukan pengecekan dengan menggunakan kedua alat tersebut.

Pada kalibrasi Theremin ini juga dilakukan metode pengukuran lain dengan menggunakan *pitch pipe* dan *chromatic tuner* untuk melihat hasil frekuensi yang dihasilkan tersebut sesuai dengan nada dasar pada tabel referensi, disini saya mengambil 1 contoh pada nada do dengan skema dan hasil sebagai berikut.

Dari nada tersebut dapat dilihat hasil dari *chromatic tuner* yang ditaruh pada speaker dari Theremin dihasilkan nada A dengan jarak 28cm yang artinya frekuensi yang dihasilkan dari Theremin pada nada do dengan frekuensi 438Hz jika disesuaikan pada tabel referensi didapatkan tangga nada A sesuai dengan hasil dari *chromatic tuner*, untuk *pitch pipe* sendiri fungsinya adalah untuk menyamakan nada yang dihasilkan dari Theremin dengan nada dari *pitch pipe* dimana penggunaannya dengan cara ditiup yang dilakukan pemutaran sampai nada A dan dilakukan meniupan, dan nada yang dihasilkan dari Theremin dan *pitch pipe* tersebut memiliki nada dasar A memiliki suara yang sama.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari perancangan dan analisa Theremin berdasarkan frekuensi yang dihasilkan Theremin pada saat tidak dimainkan dan juga dimainkan serta hasil kalibrasi Theremin adalah sebagai berikut :

1. Perubahan nada ditentukan oleh jarak tangan dengan antena
2. Inti dari perhitungan dan pengujian Theremin berada pada komponen induktor dan kapasitor pada osilasi Hartley
3. Hasil tangga nada Theremin pada saat tidak dimainkan atau dikontrol dengan menggunakan variabel kapasitor berada pada jarak 5 sampai 6 tangga nada.
4. Hasil tangga nada Theremin pada saat dimainkan atau device antena yang sudah dipasangkan serta tangan mendekati dan menjauhi antena berada pada jarak nada 1 sampai 1,5 oktaf.
5. Nada dasar yang dihasilkan dari kalibrasi Theremin berada pada note A oktaf ke-4 dan berakhir pada note C[#]/D['] oktaf ke-6
6. Semakin tinggi jarak tangan terhadap antena pada saat memainkan theremin, frekuensi yang dihasilkan akan semakin besar.

5.2 Saran

Perancangan Theremin dapat dilakukan beberapa modifikasi pada komponen untuk menghasilkan jarak nada yang lebih panjang dengan merubah komponen kapasitor dan induktor yang lebih besar sehingga menghasilkan frekuensi resonansi yang lebih besar, jika frekuensi resonansi tersebut lebih besar maka *bandwidht* frekuensi akan semakin sempit sehingga jarak nada yang dihasilkan oleh Theremin bisa lebih panjang.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hayt, H. William and Buck, A. John., “*Engineering Electromagnetics, Seventh Edition*”, McGraw-Hill College, New York, 2004.
- [2] Li, Xiaouhi, Wang, Danni and Bian, Yujian, “*Heterodyne Frequency Measurement Method Based on Virtual Instrument*”, Chinese Academy of Sciences, China, 2007.
- [3] Feger, Reinhard,,” *A Heterodyne 77-GHz FMCW Radar with Offset PLL Frequency Stabilization*”, Johannes Kepler University, Austria, 2011.
- [4] Record, F.A and Stiles, S.T, “*An Analytical Demonstration of Hartley Oscillator*”, I.R.E Associate, Jun 1943.
- [5] Jones, Josh ,“*The History of Electronic Music Visualized on a Circuit Diagram of a 1950s Theremin: 200 Inventors, Composers & Musicians*”, Open Culture Musci Technology, May 2017.
- [6] Smirnov, Andrey, “*Theremin Sensors Circuitry*”, Moscow State Conservatory, Russia, 2013
- [7] Nikitin. P, ”Leon Theremin (Lev Theremin)”,Intermec Technology, USA, 2012.
- [8] Koga, Aaron, “Theremin”, Physics 475, Dec 2006.
- [9] Derek, Lindberg, Nick, Ciocco and Greg, Newcomb, “*Capacitive Pitch Controll Theremin*” Department of Electrical Engineering and Computer Engineering University of Colorado,USA, 2019
- [10] Banoe, Pono,“Kamus Musik”,Kanisius, Yogyakarta, 2003.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR

Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro - ITS

TE141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Muhammad Dwi Rifqi
Nomor Pokok : 2213 100 087
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Genap 2016/2017
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Gamantyo Hendranto, Ph.D.
2. Dr. Ir. Wirawan, DEA
Judul Tugas Akhir : **Rancang Bangun Alat Musik Berbasis Perubahan Arus Perpindahan**
(*Musical Instrument Design Based on Displacement Current*)

10 FEB 2017

Uraian Tugas Akhir :

Konsep dari Theremin ini adalah sebuah alat musik, dimana cara memainkan alat musik ini tidak menggunakan kontak fisik langsung terhadap alat tersebut, dimana menggunakan teori arus perpindahan yaitu suatu medan listrik yang berubah terhadap waktu yang dimana arus perpindahan itu akan terjadi ketika terdapat dua lempeng penghantar dengan susunan paralel pada suatu dielektrik yang diberikan tegangan dan akan menghasilkan medan listrik. Cara memainkan alat tersebut yaitu menggunakan tangan yang mendekati atau menjauhi antenna untuk menghasilkan suatu suara. Pada rangkaian tersebut terdapat antenna yang bisa mengatur nada (*pitch control*) serta mengatur volume (*volume control*). Jarak dari tangan terhadap antenna tersebut akan mempengaruhi nada dan volume dari suara yang akan dihasilkan tersebut. Tugas akhir ini membahas cara pembuatan alat Theremin tersebut dengan beberapa referensi rangkaian yang terdapat pada jurnal, artikel, maupun internet. Setelah pembuatan alat tersebut akan dilakukan pengecekan dengan menggunakan simulasi yaitu menggunakan CST untuk membandingkan perbedaan yang dihasilkan antara alat yang dibuat dengan simulasi. Setelah alat dan simulasi sudah dibuat, akan dilakukan pengecekan frekuensi yang dihasilkan pada saat memainkan alat musik tersebut dengan menggunakan *spectrum analyzer*.

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,


Prof. Dr. Ir. Gamantyo Hendranto, Ph.D.
NIP. 197011111993031002


Dr. Ir. Wirawan, DEA
NIP. 196311091989031011

Menyetujui,
Ketua Program Studi S1

Menyetujui,
Kepala Laboratorium Antena dan Propagasi




Dedet C. Riawan, ST, M, Eng, Ph.D.
NIP. 197311192000031001

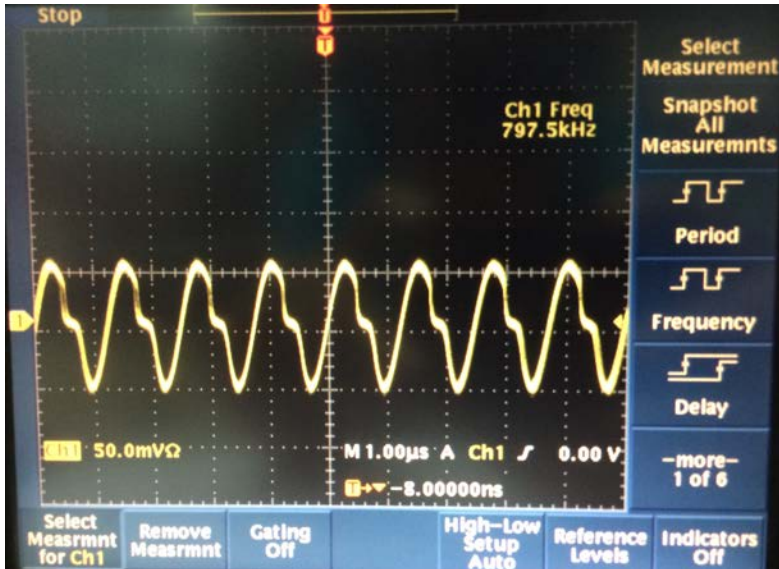

Prof. Dr. Ir. Gamantyo Hendranto, Ph.D.
NIP. 197011111993031002

Halaman ini sengaja dikosongkan

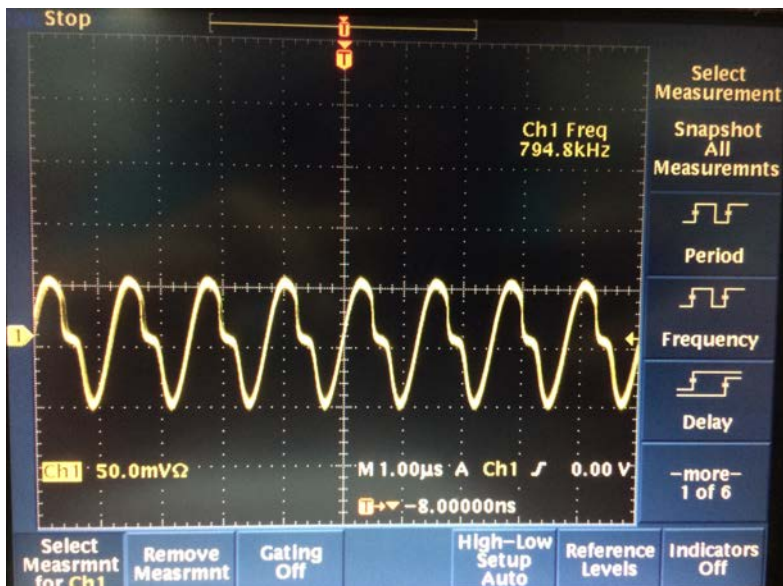
LAMPIRAN B

PENGUKURAN THEREMIN SEBELUM DIMAINKAN

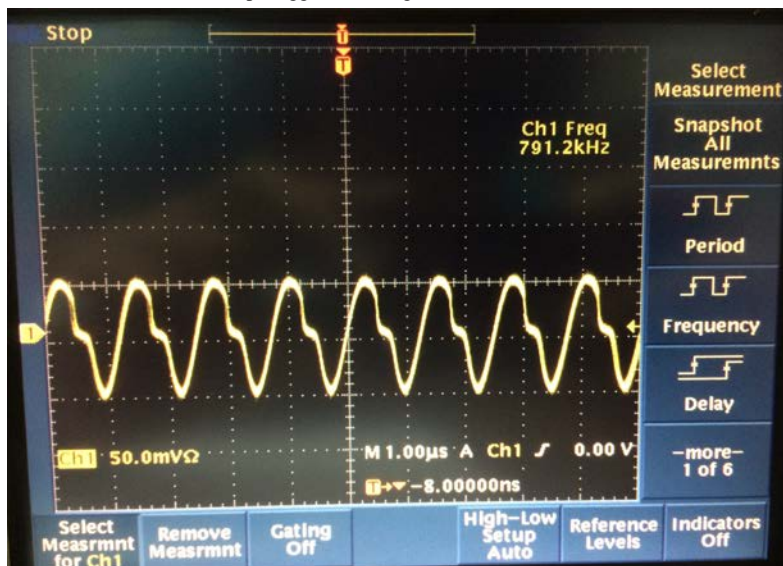
B.1 HASIL LEBIH KECIL DARI FREKUENSI REFRENSI



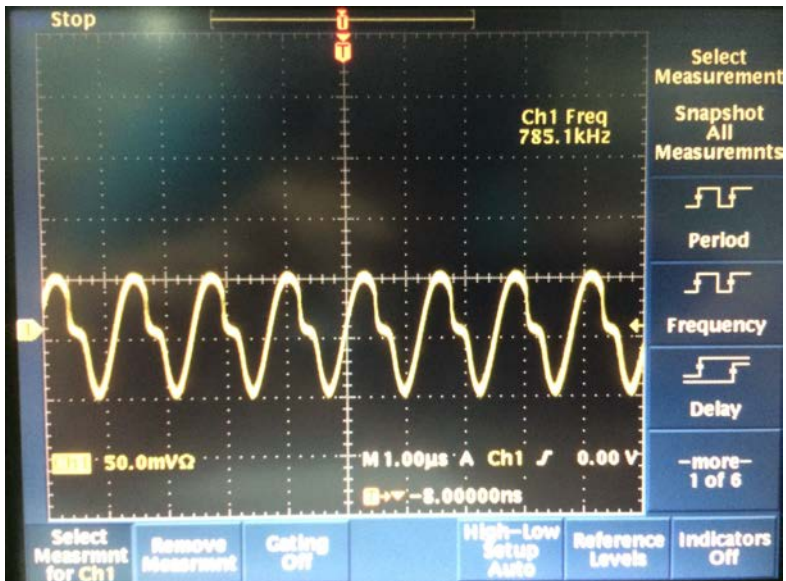
Gambar B.1 Hasil osiloskop tangga nada kedua dibawah frekuensi refrensi



Gambar B.2 Hasil osiloskop tangga nada ketiga dibawah frekuensi referensi

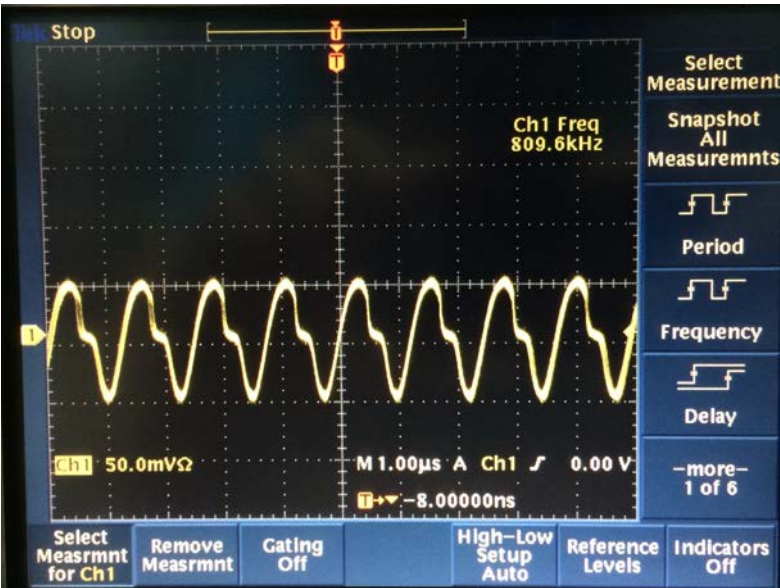


Gambar B.3 Hasil osiloskop tangga nada keempat dibawah frekuensi referensi



Gambar B.4 Hasil osiloskop tangga nada kelima dibawah frekuensi referensi

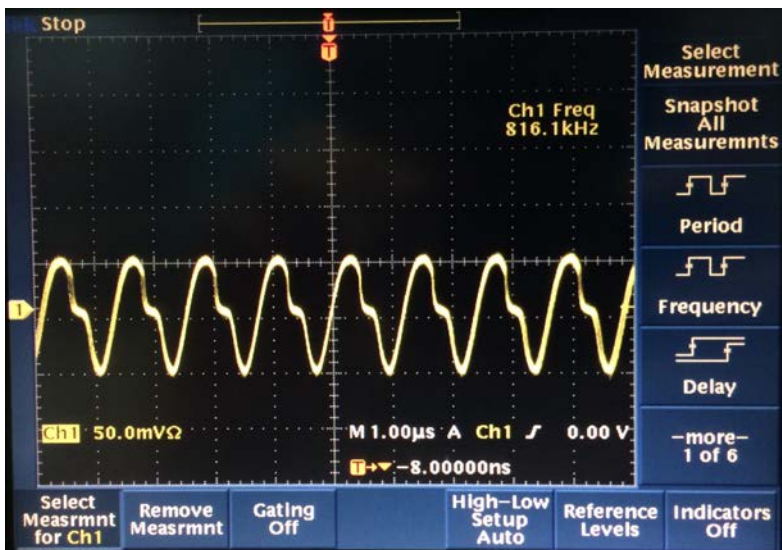
B.2 HASIL LEBIH BESAR DARI FREKUENSI REFRENSI



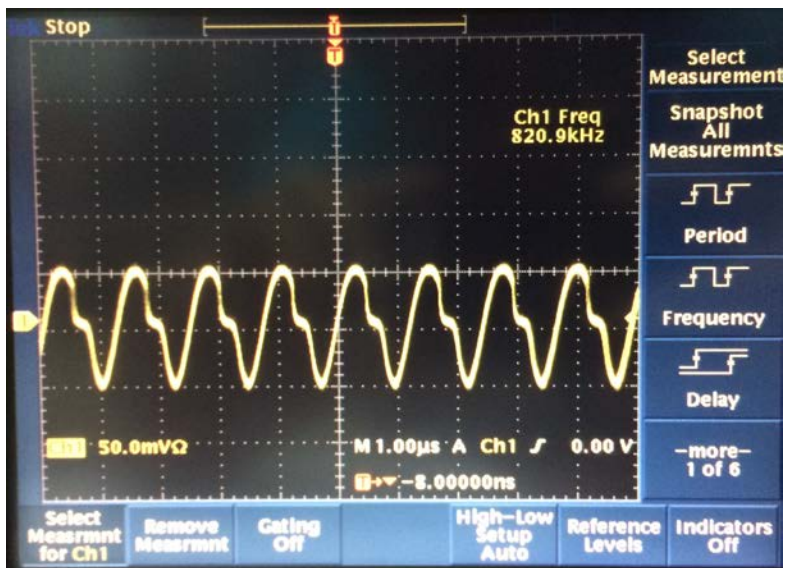
Gambar B.5 Hasil osiloskop tangga nada kedua diatas frekuensi refrensi



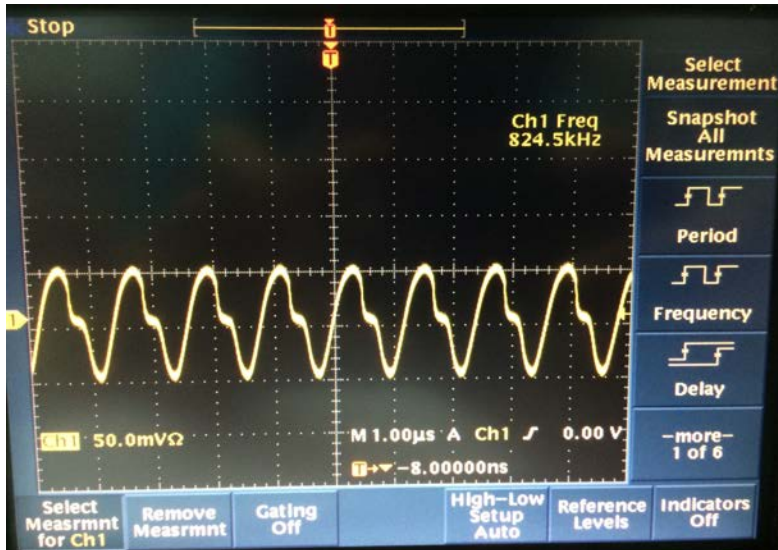
Gambar B.6 Hasil osiloskop tangga nada ketiga diatas frekuensi referensi



Gambar B.7 Hasil osiloskop tangga nada keempat diatas frekuensi referensi



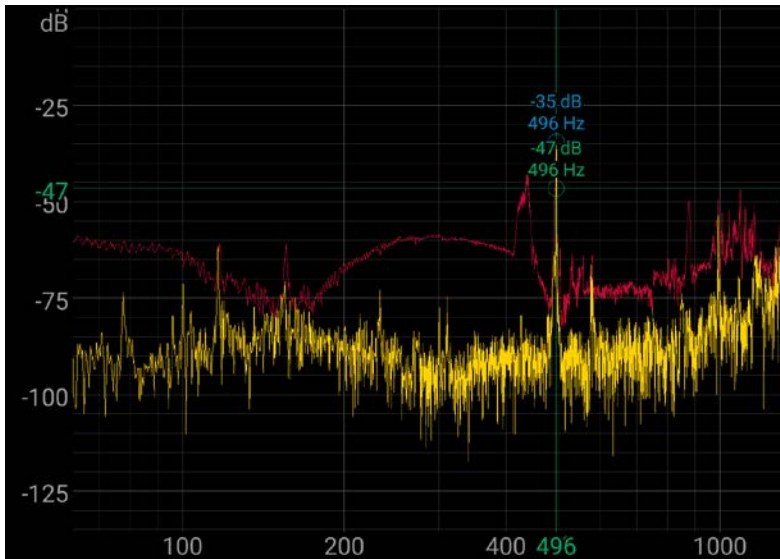
Gambar B.8 Hasil osiloskop tangga nada kelima diatas frekuensi refrensi



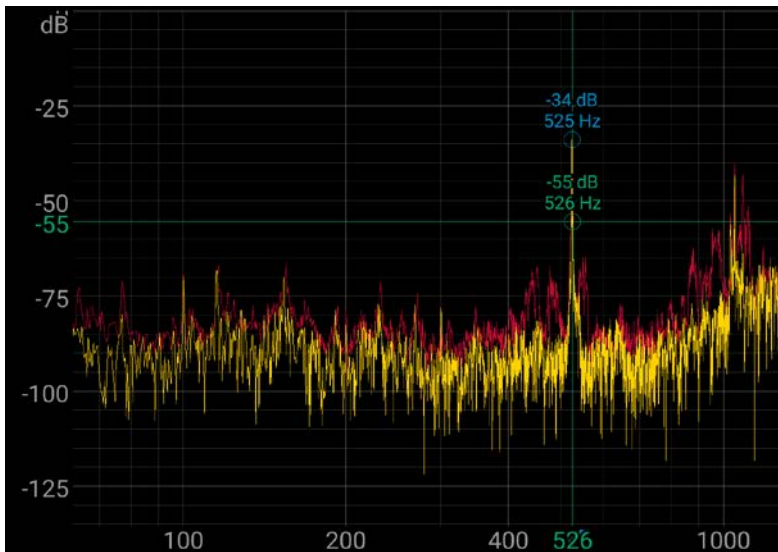
Gambar B.9 Hasil osiloskop tangga nada keenam diatas frekuensi refrensi

LAMPIRAN C

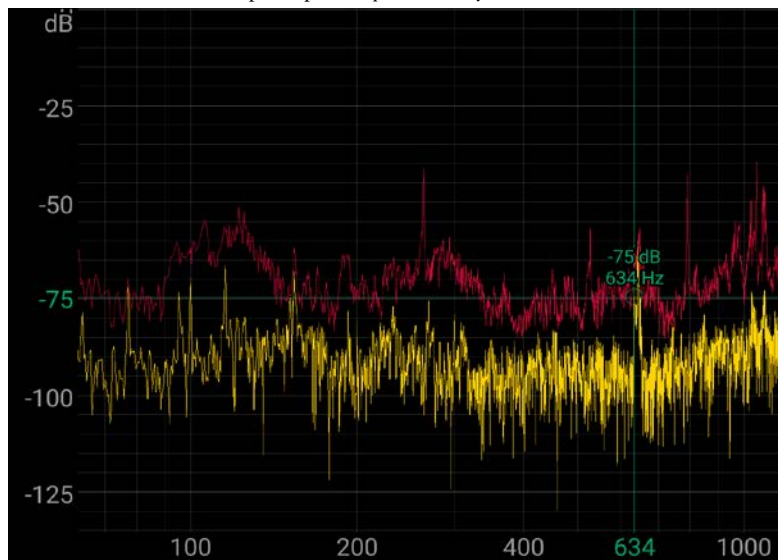
HASIL PENGUKURAN FREKUENSI



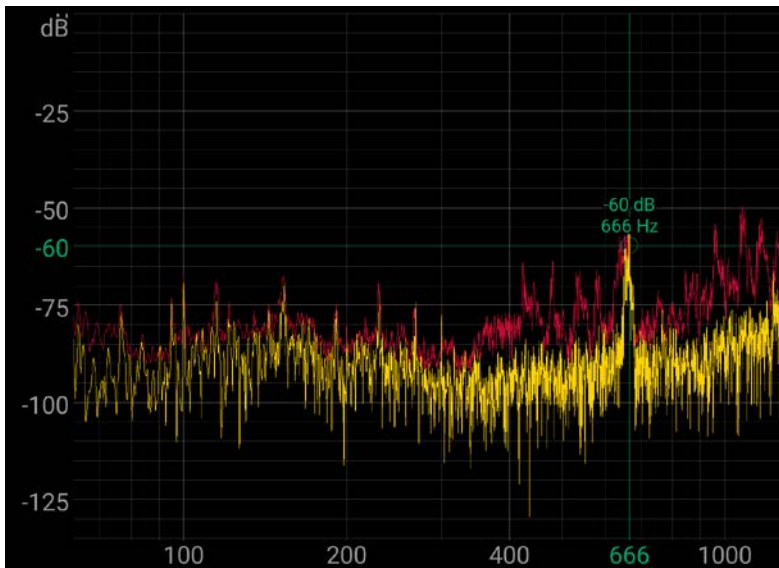
Gambar C.1 Hasil nada re pada aplikasi *spectrum analyzer*



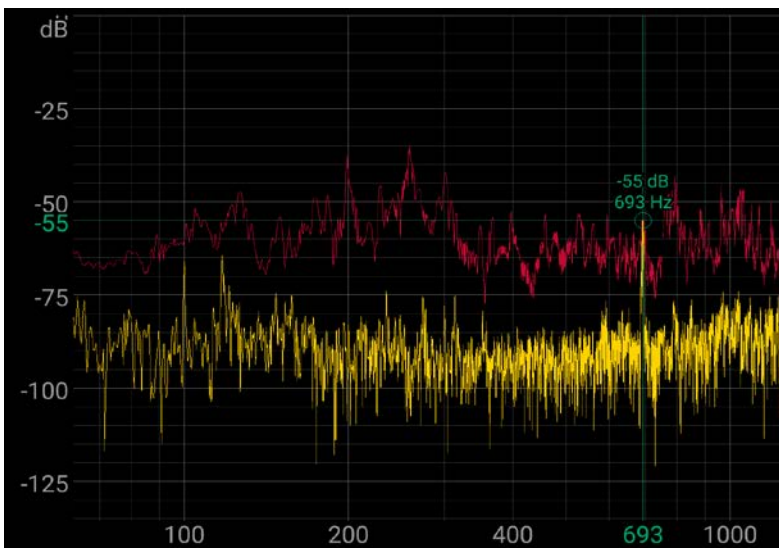
Gambar C.2 Hasil nada mi pada aplikasi *spectrum analyzer*



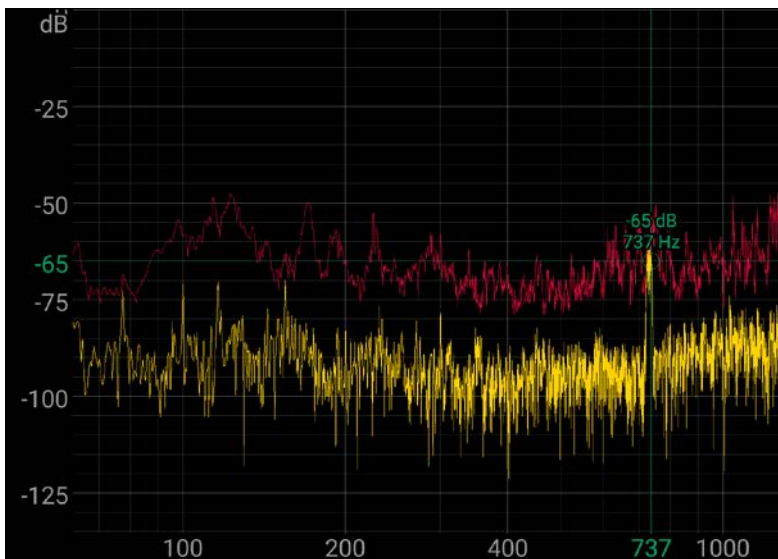
Gambar C.3 Hasil nada fa pada aplikasi *spectrum analyzer*



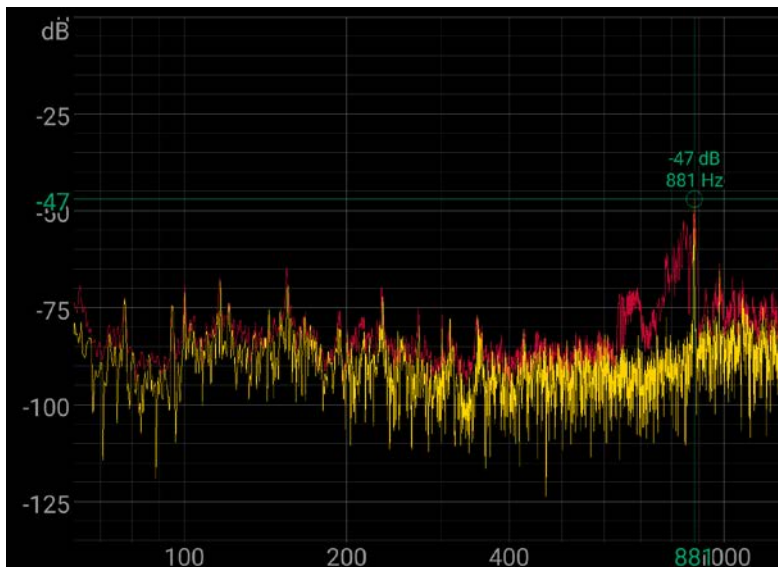
Gambar C.4 Hasil nada sol pada aplikasi *spectrum analyzer*



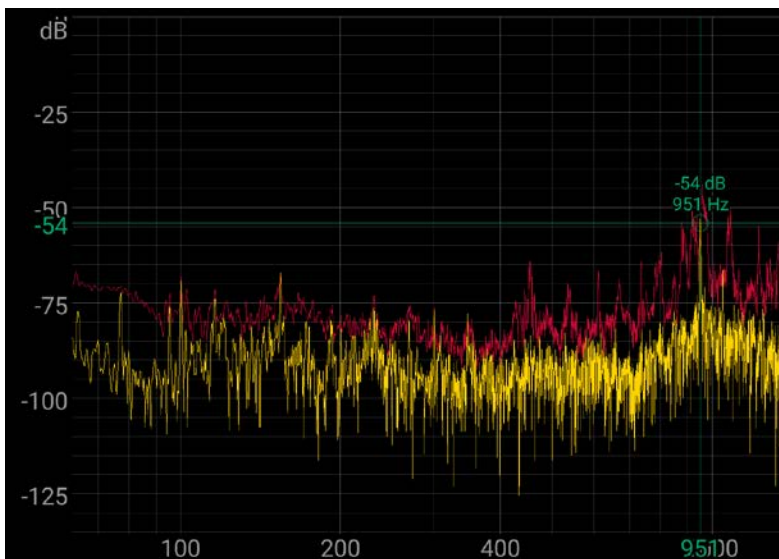
Gambar C.5 Hasil nada la pada aplikasi *spectrum analyzer*



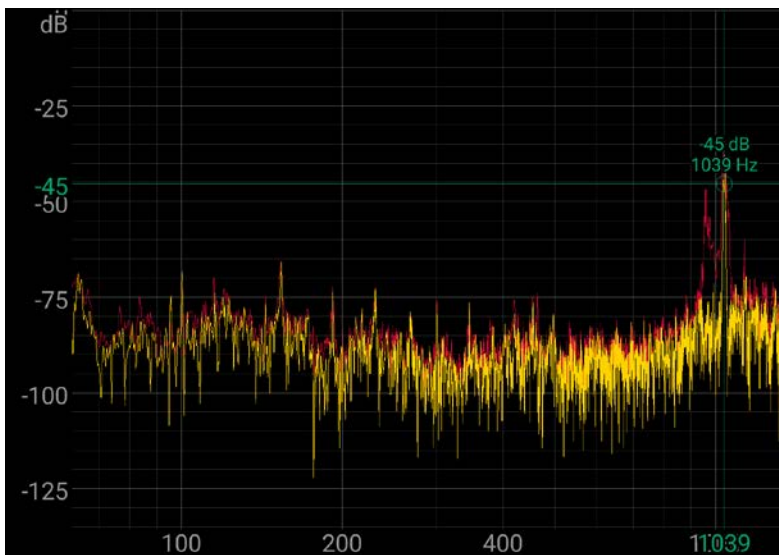
Gambar C.6 Hasil nada si pada aplikasi spectrum analyzer



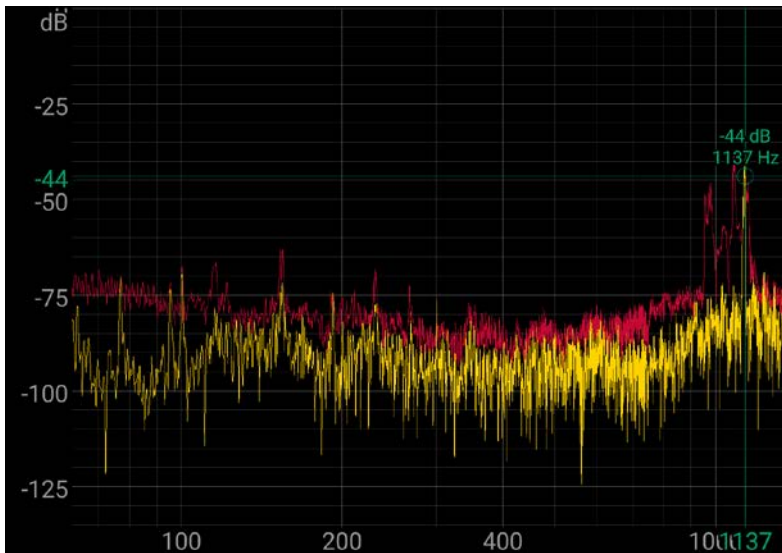
Gambar C.7 Hasil nada do' pada aplikasi *spectrum analyzer*



Gambar C.8 Hasil nada re' pada aplikasi *spectrum analyzer*



Gambar C.9 Hasil nada mi' pada aplikasi *spectrum analyzer*



Gambar C.10 Hasil nada fa' pada aplikasi *spectrum analyzer*

Riwayat Hidup Penulis



Muhammad Dwi Rifqi, Penulis biasa dipanggil dengan sapaan Kiki dilahirkan di Tangerang pada tanggal 20 September 1995, anak ke dua dari dua bersaudara dari orang tua Judi dan Ardiyah Sujaningsih. Penulis memiliki ketertarikan dalam bidang yang berhubungan dengan Telekomunikasi dan Informatika. Penulis memulai pendidikan dari TK Islam Al-Azhar BSD pada tahun 1999-2001, kemudian melanjutkan pendidikan di SDI Al-Azhar BSD pada tahun 2001-2007, selanjutnya menempuh pendidikan di SMPI Al-Azhar BSD pada tahun 2007-2010, setelah itu melanjutkan di SMAI Al-Azhar BSD pada tahun 2010-2013, dan penulis melanjutkan studi di S1 Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mengambil bidang studi Teknik Telekomunikasi Multimedia sebagai fokus studinya. Penulis aktif dalam kepengurusan kepanitian event atau pelatihan yang dilaksanakan di jurusan Teknik Elektro, sebagai panitia dana Electra dan panitia publikasi dokumentasi Electrical Engineering Event pada tahun 2014. Saat ini penulis aktif sebagai asisten Laboratorium Antena dan Propagasi jurusan Teknik Elektro-ITS. Penulis dapat dihubungi melalui.
email : muhammaddwirifqi@yahoo.com

Halaman ini sengaja dikosongkan